



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

"MICROPLÁSTICOS EN *DORMITATOR MACULATUS* Y
SEDIMENTOS DEL RÍO ACULA DE LA LAGUNA DE ALVARADO,
VERACRUZ, MÉXICO"
TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA
BIOL. DERIAN JAVIER DEL ÁNGEL GUZMÁN

DIRECTOR DE TESIS
DRA. CLAUDIA ARACELI DÁVILA CAMACHO
CO-DIRECTOR
DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
ASESORES
DR. JESÚS MONTOYA MENDOZA
DRA. ROCÍO DE GUADALUPE BERNAL RAMÍREZ

20 DE MAYO DEL 2023

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.

Tel. (229) 690 5010 ext. 113 depi_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



2023
AÑO DE
**Francisco
VILLA**
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO



ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: **A-01304-150921**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 14:00 horas del día 5 del mes de mayo de 2023 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

"MICROPLÁSTICOS EN *DORMITATOR MACULATUS* Y SEDIMENTOS DEL RÍO ACULA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO "

Que presenta el (la) alumno(a):

DERIAN JAVIER DEL ÁNGEL GUZMÁN
Aspirante al Grado de:
Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

DRA. CLAUDIA ARACELI DAVILA CAMACHO
Director

DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO
Co-Director

DRA. ROCÍO DE GUADALUPE BERNAL
RAMIREZ
Asesor

DR. JESÚS MENDOZA MONTOYA
Asesor



Boca del Río, Ver **3/MAYO/2023**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**DERIAN JAVIER DEL ÁNGEL GÚZMAN
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

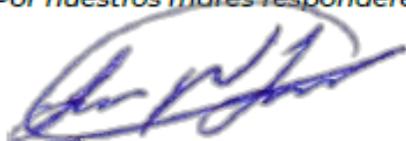
De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

“MICROPLÁSTICOS EN *DORMITATOR MACULATUS* Y SEDIMENTOS DEL RÍO ACULA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO”

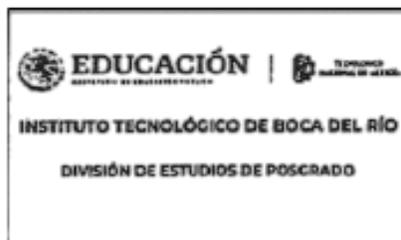
Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede AUTORIZACIÓN para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos*



DR. JUAN DAVID GARAY MARÍN
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 ext. 113 depi_bdelrio@tecnm.mx | technm.mx | bdelrio.tecnm.mx





"2020, Año del Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Veracruz, 17/Mayo/2022

Asunto: CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO

H. CONSEJO DE POSGRADO

PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO PRESENTE

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 17 días del mes de mayo del 2022. El que suscribe, Del Ángel Guzmán Derian Javier por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: "MICROPLÁSTICOS EN DORMITATOR MACULATUS Y SEDIMENTOS DEL RÍO ACULA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VERACRUZ, MÉXICO" (en lo sucesivo la "TESIS") manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el "TecNM"). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la "TESIS" se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la "TESIS" es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la "TESIS" en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del "TecNM", adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la "TESIS" a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.





"2020, Año del Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la "TESIS" por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el "TecNM".
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: __derianjavier.guzman@gmail.com__.

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

Derian Javier del Ángel Guzmán

NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE DE MAESTRIA

c.c.p. Archivo



RESUMEN

El incremento del uso de los plásticos en las últimas décadas ha propiciado la contaminación de ecosistemas acuáticos por plásticos y microplásticos, se consideran un problema que debe ser estudiado y atendido, por su persistencia e impacto ambiental al agua, sedimento y fauna principalmente. Los microplásticos son considerados contaminantes emergentes, de los cuales se han realizado diversos estudios sobre la determinación, clasificación y caracterización de microplásticos en el medio marino y playas, así como, también se han diseñado y estandarizado técnicas de muestreo y extracción de microplásticos. Sin embargo, se han realizado pocos estudios en lagunas costeras y estuarios, estos son ecosistemas que juegan un papel muy importante para la diversidad biológica y ecológica, poniendo en riesgo el equilibrio natural. Por esta razón este proyecto pretende evaluar la presencia, variedad y cantidad de microplásticos presentes en el branquias e intestinos del pez elegido como bioindicador *Dormitator maculatus* y el sedimento de su hábitat en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz. Se analizaron 127 organismos de *D. maculatus* los cuales fueron colectados en la desembocadura de la laguna de Alvarado. Como resultado, se obtuvieron 1134 particular plásticas de las cuales 561 fueron del intestino y 573 en branquias, en los cuales predominaron los microplásticos en forma de fibra, color azul de diversos tamaños, en cuanto a los parámetros biológicos únicamente se presentó una correlación positiva con el peso del intestino y el peso de las branquias, sin embargo, esta relación es muy baja y poco confiable. Para sedimento se analizaron tres puntos de muestreo de lo largo del Río Acula de los cuales de obtuvieron 500 g de sedimento, de los cuales se obtuvieron 487 microplásticos, de los cuales 243 pertenecen al sitio A, 24 al sitio B y 220 al sitio C, al igual que los microplásticos reportados en *D. maculatus* la forma predominante fueron las fibras sin embargo el color transparente fue en las predominante seguido por el color azul, con ello se confirma la presencia y genera el primer registro de microplásticos en el Sistema Lagunar de Alvarado en *D. maculatus* y sedimento. La presencia de microplásticos nos indica una contaminación proveniente de zonas altamente urbanizadas cercanas, además la interpretación de la relación entre el sedimento y *D. maculatus* contribuye al entendimiento de la interacción de microplásticos en el ambiente y desarrollo propuestas de gestión ambiental en beneficio del ambiente.

Palabras clave: contaminación, contaminantes emergentes, microplásticos, bioindicador, *D. maculatus*, lagunas costeras, parámetros biológicos, sedimento.

ABSTRACT

The increase in the use of plastics in recent decades has led to the contamination of aquatic ecosystems by plastics and microplastics, it is considered a problem that must be studied and addressed, mainly due to its persistence and environmental impact on water, sediment, and fauna. Microplastics are considered emerging pollutants, of which various studies have been carried out on the determination, classification, and characterization of microplastics in the marine environment and beaches, as well as microplastic capture and extraction techniques have been designed and standardized. However, few studies have been carried out in coastal lagoons and estuaries, these are ecosystems that play a very important role for biological and ecological diversity, putting the natural balance at risk. For this reason, this project intends to evaluate the presence, variety and quantity of microplastics present in the gills and intestines of the fish chosen as a bioindicator *Dormitator maculatus* and the sediment of its habitat in the Alvarado Lagoon System, Veracruz. 127 organisms of *Dormitator maculatus* were analyzed, which were collected at the river mouth of the Alvarado lagoon, 1134 particular plastics were obtained, of which 561 were from the intestine and 573 in gills, in which fiber-shaped microplastics predominated, blue in color of various sizes, in terms of biological parameters, only positive evidence was presented with the weight of the intestine and the weight of the gills, however, this relationship is very low and unreliable. For sediment, 3 test points along the Acula River were analyzed, of which 500 grams of sediment were acquired, of which 487 microplastics were obtained, of which 243 belong to site A, 24 to site B and 220 to site C. , like the microplastics reported in *D. maculatus*, the predominant shape was the fibers, however the transparent color was predominantly followed by the blue color, thereby confirming the presence and generating the first record of microplastics in the Lagoon System of Alvarado in *D. maculatus* and sediment. The presence of microplastics indicates a contamination from nearby highly urbanized areas, in addition, the interpretation of the relationship between the sediment and *D. maculatus* contributes to the understanding of the interaction of microplastics in the environment and development of environmental management proposals for the benefit of the environment.

Keywords: contamination, contaminantes emergentes, microplastic, bioindicator, *D. maculatus*, coastal lagoons, biological parameters, sediment.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) quien aportó el apoyo de beca número 787665, para hacer posible mis estudios de maestría e investigación desarrollada durante los dos años del posgrado.

Al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, por brindarme la oportunidad de estudiar la maestría en ciencias en ingeniería ambiental.

A mi directora de tesis, Dra. Claudia Araceli Dávila Camacho por su tiempo, dedicación y paciencia durante la realización de este trabajo, además de sus grandes muestras de sencillez y calidad humana.

A mi codirectora de tesis, Dra. Fabiola Lango Reynoso por estar siempre al pendiente de mi desempeño y por ofrecerme su apoyo.

A mi asesora, Dra. Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez, por todos sus consejos y asesorías en la realización del proyecto de investigación.

Al Dr. Jesús Montoya Mendoza, por su asesoría y observaciones en el proyecto de investigación.

A mis amigos de la maestría por aquellas interminables divertidas e interesantes pláticas, Josué, Uriel, Anahy, Citlalmina, Clarita, Marimar.

DEDICATORIA

A mi madre y familia, de quien siempre he recibido apoyo incondicional.

*En la lectura debemos imitar a las abejas,
las flores más idóneas para fabricar la miel.*

Lucio Séneca (04ac-65dc)

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
2	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	4
2.1	Contaminantes	4
2.1.1	<i>Contaminantes emergentes</i>	5
2.1.2	<i>Características de los plásticos y microplásticos</i>	5
2.1.3	<i>Clasificación de los Plásticos</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4	<i>Microplásticos</i>	6
2.1.5	<i>Clasificación por su origen</i>	7
2.1.6	<i>Problemática de los microplásticos</i>	7
2.1.7	<i>Efectos tóxicos de los microplásticos</i>	7
2.1.8	<i>Plastisphere</i>	8
2.1.9	<i>Microplásticos en el medio acuático y fondo marino</i>	8
2.2	Importancia de los ecosistemas acuáticos	9
2.2.1	<i>Importancia de las algas costeras</i>	10
2.2.2	<i>Importancia del Sistema Lagunar de Alvarado</i>	10
2.3	Importancia de los peces en el ambiente	11
2.3.1	<i>Características generales de <i>Dormitator maculatus</i></i>	11
2.3.2	<i>Importancia de <i>D. maculatus</i> en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz</i>	12
3	ANTECEDENTES	13
4	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
4.1	Planteamiento del problema	17
5	JUSTIFICACIÓN	19
6	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	21
7	HIPÓTESIS	21
8	OBJETIVOS	22
8.1	Objetivo general	22
8.2	Objetivos Particulares	22
9	MATERIAL Y MÉTODOS	23
9.1	Área de estudio	23
9.2	Muestreo de organismos	24
9.3	Biometría y extracción de branquias e intestinos	25
9.4	Plenitud intestinal	26
9.5	Degradación de tejido y filtración	26
9.6	Relación Longitud-peso	28
9.7	Índice de condición de Fulton (<i>K</i>)	28
9.8	Muestreo de sedimentos	29

9.9	Tratamiento del sedimento	30
9.10	Flotación por densidad y filtración (sedimento)	30
9.11	Análisis de microplásticos	30
9.12	Tratamiento de datos	31
10	RESULTADOS	32
10.1	Biometría	32
10.2	Microplásticos en <i>D. maculatus</i>	34
10.3	Microplásticos por sexo	3
10.4	Microplásticos en sedimentos	3
11	ANÁLISIS DE DATOS	9
11.1	Relación peso-talla	9
11.2	Variación entre la cantidad de microplásticos entre machos y hembras	10
11.3	Variación entre la cantidad de microplásticos en branquias e intestinos	13
11.2	Plenitud intestinal	14
11.3	Análisis de microplásticos en sedimento	24
11.4	Microplásticos obtenidos en <i>D. maculatus</i> y sedimento del río Acula	25
12	DISCUSIÓN	27
13	CONCLUSIONES	36
14	REFERENCIAS	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz.	24
Figura 2. Sitio de muestreo de <i>Dorminator maculatus</i> ; en el Sistema Lagunar de Alvarado, Ver. 25	
Figura 3. Disección, biometrías y clasificación de plenitud intestinal de ejemplares.	26
Figura 4. Digestión de branquias e intestinos de <i>Dorminator maculatus</i> .	27
Figura 5. Filtrado de la degradación de intestinos y branquias con bomba de vacío.	27
Figura 6. Sitios de muestreo del sedimento en el Río Acula, Veracruz.	29
Figura 7. Análisis de microplásticos en microscopio estereoscópico por forma, color y tamaño.	31
Figura 8. Abundancia de microplásticos en intestinos y branquias en <i>D. maculatus</i> , en la Laguna de Alvarado, Veracruz.	35
Figura 9. Porcentaje de abundancia de formas de microplásticos, presentes en intestinos y branquias de <i>Dorminator maculatus</i> en la Laguna de Alvarado, Ver.	35
Figura 10. Porcentaje de microplásticos clasificados por colores presentes en intestinos y branquias de <i>Dorminator maculatus</i> en la Laguna de Alvarado, Ver.	37
Figura 11. Porcentaje de abundancia de tamaños de microplásticos, presentes en intestinos y branquias, en <i>Dorminator maculatus</i> en la Laguna de Alvarado, Ver.	1
Figura 12. Microplásticos en <i>Dorminator maculatus</i> clasificados por color y tamaño. A) Film blanco 1.5 mm. B) Fibra azul 2.0 mm. C) Fibra rojo 2.0 mm. D) Fragmento azul 2.0 mm. E) Fibra azul 4.0 mm. F) Film blanco 2.0 mm. G) Fibra azul 1.0 mm. H) Fibra azul 3.0 mm y fibra rojo 1.0 mm.	2
Figura 13. Microplásticos en sedimentos del río Acula, Veracruz. A) Film blanco 2.46 mm. B) Fragmento verde 1.76 mm. C) Film blanco 3.54 mm. D) Fibra rojo 1.96 mm. E) Fibra azul 3.49 mm. F) Pellet blanco 1 mm. G) Fragmento blanco 1.02 mm. H) Film blanco 2.68 mm.	5
Figura 14. Clasificación de microplásticos por formas en sedimento en los sitios A, B y C del río Acula, Ver.	6
Figura 15. Abundancia de microplásticos por colores en sedimento en los sitios A, B y C de Río Acula, Ver.	7
Figura 16. Tamaño de microplásticos en sedimento en los sitios A, B y C del río Acula. Ver.	9
Figura 17. Relación entre Peso total vs Talla total de <i>Dorminator maculatus</i> .	10
Figura 18. Microplásticos totales por sexo en <i>Dorminator maculatus</i> en la laguna de Alvarado, Ver.	11
Figura 19. Microplásticos en intestino por sexo en <i>Dorminator maculatus</i> , en la Laguna de Alvarado, Ver.	11

Figura 20. Microplásticos en branquias por sexo en <i>Dormitator maculatus</i> , en la Laguna de Alvarado, Ver .	12
Figura 21. Variación entre la cantidad de microplásticos presentes en branquias e intestinos de <i>D. maculatus</i> de la Laguna de Alvarado, Ver.	13
Figura 22. Microplásticos en intestino de acuerdo con la clasificación de plenitud intestinal en <i>D. maculatus</i> , en la Laguna de Alvarado, Ver.	15
Figura 23. Regresión lineal de microplásticos totales vs longitud total, S = 5.41121, variación de R ² de 0.01% y R ² ajustada de 0.00%.	16
Figura 24. Regresión lineal de microplásticos totales vs peso total, S = 5.39826, variación de R ² de 0.48% y R ² ajustada de 0.00%.	16
Figura 25. Regresión lineal de microplásticos totales vs K, S = 5.36051, R ² de 1.87% y R ² ajustada de 1.09%.	17
Figura 26. Regresión lineal de microplásticos en intestinos vs longitud total, S = 3.284993, R ² de 0.0% y R ² ajustada de 0.0%.	18
Figura 27. Regresión lineal de microplásticos en intestinos vs peso total, S = 3.28179, R ² de 0.2% y R ² ajustada de 0.0%.	18
Figura 28. Regresión lineal de microplásticos en intestinos vs K, S = 3.27764, R ² de 0.4% y R ² ajustada de 0.0%.	19
Figura 29. Regresión lineal de microplásticos branquia vs longitud total, S = 3.06419, R ² de 0.0% y R ² ajustada de 0.0%.	20
Figura 30. Regresión lineal de microplásticos branquia vs peso total, S = 3.05550, R ² de 0.6% y R ² ajustada de 0.0%.	20
Figura 31. Regresión lineal de microplásticos branquia vs K, S = 3.01972, R ² de 2.9 % y R ² ajustada de 2.1%.	21
Figura 32. Regresión lineal de microplásticos de intestino vs longitud del intestino, S = 3.27012, R ² de 0.90 % y R ² ajustada de 0.11%.	22
Figura 33. Regresión lineal de microplásticos de intestino vs peso del intestino, S = 3.21666, R ² de 4.12 % y R ² ajustada de 3.35%.	22
Figura 34. Regresión lineal de microplásticos en branquia vs peso de branquias, S = 2.81132, R ² de 15.83 % y R ² ajustada de 15.16%.	23
Figura 35. Diferencias en la cantidad de microplásticos encontrados en los diferentes sitios de muestro A, B y C del Río Acula.	24
Figura 36. Intervalos entre microplásticos de los sitios de muestro A, B y C del Río Acula, 95% de IC para la media, además las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.	25
Figura 37. Distribución de los diferentes tipos de plásticos por su densidad en la columna de	

agua y habitat de *D. maculatus* (Modificado de: Andrady, 2011 y GESAMP, 2015.). 30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de plásticos por su densidad sobre la columna de agua (Modificado de: GESAMP, 2015).	9
Tabla 2. Biometría (127) de los organismos de <i>D. maculatus</i> colectados en la desembocadura de la Laguna de Alvarado.	32
Tabla 3. Biometría de machos de <i>Dormitator maculatus</i> colectados en la desembocadura de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	33
Tabla 4. Biometría de hembras de <i>Dorminator maculatus</i> colectados en la desembocadura de la Laguna de Alvarado, Veracruz.	33
Tabla 5. Clasificación de microplásticos por forma y porcentaje en intestino, branquia y totales en <i>Dorminator maculatus</i> , en la Laguna de Alvarado, Ver.	34
Tabla 6. Clasificación de microplásticos por color en intestino, branquia y totales, de <i>Dormitator maculatus</i> en la Laguna de Alvarado, Ver.	36
Tabla 7. Clasificación de microplásticos por tamaño en intestino, branquia, total y porcentaje en <i>Dormitator maculatus</i> en la Laguna de Alvarado, Ver.	1
Tabla 8. Microplásticos en sedimento por apertura de malla de tamiz en los sitios A, B y C del Río Acula, Veracruz.	4
Tabla 9. Clasificación de microplásticos por forma en sedimento de los sitios A, B, C y totales en Río Acula; Ver.	6
Tabla 10. Abundancia de microplásticos por color en sedimento de los sitios A, B, C y totales en Río Acula, Ver.	7
Tabla 11. Abundancia y clasificación por tamaño de microplásticos en sedimento en los sitios A, B, C y totales; en el río Acula, Ver.	8
Tabla 12. Diferencia de cantidad de microplásticos en <i>Dormitator maculatus</i> por sexo.	12
Tabla 13. Clasificación Índice de condición de Fulton (<i>K</i>) de los organismos.	14
Tabla 14. Clasificación de organismos <i>Dormitator maculatus</i> de acuerdo con la plenitud intestinal (vacío, medio lleno y lleno) y su cantidad de microplásticos.	14
Tabla 15. Correlación de microplásticos totales vs longitud total, peso total y <i>K</i> .	15
Tabla 16. Correlación de microplásticos en intestinos vs talla total, peso total y <i>K</i> .	17
Tabla 17. Correlación de microplásticos en branquias vs talla total, peso total y <i>K</i> .	19

Tabla 18. Correlación de microplásticos en intestinos vs longitud intestinal y peso del intestino	21
Tabla 19. Correlación de microplásticos en branquias vs peso de branquias.	23
Tabla 20. Comparación entre los porcentajes de formas en microplásticos de <i>D. maculatus</i> y sedimentos.	25
Tabla 21. Comparación entre los porcentajes de colores en microplásticos de <i>D. maculatus</i> y sedimentos.	26
Tabla 22. Presencia de microplásticos en diferentes especies de peces, indicando porcentaje de ocurrencia (%), el órgano analizado, forma y color predominante.	28
Tabla 23. Estudios sobre la presencia de microplástico en sedimentos indicando forma y color predominante en Kg en el el sitio de estudio.	34

1 INTRODUCCIÓN

Con la creciente demanda de plásticos y su acumulación en los océanos, los investigadores se han visto atraídos por este tema, principalmente por la presencia de microplásticos, sus fuentes, efectos físicos, interacciones biológicas, bioacumulación y biomagnificación (Kumar *et al.*, 2018). El presente trabajo es el primer registro de microplásticos en el Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz, México, los cuales corresponden a las muestras analizadas de *Dormitator maculatus* y el sedimento del Río Acula.

Los microplásticos son un gran problema ambiental que surge a partir de la gran demanda de plásticos (Thevenon *et al.*, 2014). Al tener un manejo inadecuado, los desechos plásticos se encuentran expuestos en el ambiente donde son transportados a los ecosistemas acuáticos (Barboza y Jiménez, 2015). Al estar a cielo abierto son fragmentados por la radiación UV, viento y lluvia, dando lugar los microplásticos (Andrady, 2011).

Los ecosistemas acuáticos se están viendo afectados por el ingreso de plásticos y microplásticos, al agua, sedimentos y biota. Estos contaminantes se generan en los ecosistemas terrestres y la mayoría llegan a ecosistemas marinos (Wright *et al.*, 2020). En las últimas décadas este tipo de contaminación se ha acelerado a tal grado que causa preocupación por las afectaciones que pueden tener en los organismos y lo que puede ocurrir a los ecosistemas acuáticos (Andrady, 2011; Li *et al.*, 2018; Igalavithana *et al.*, 2022).

Los plásticos se pueden clasificar dentro del grupo de los contaminantes emergentes, ya que aún no cuenta con alguna normativa que los regule, de igual manera, no se conoce en su totalidad su comportamiento en el medio ambiente (Deblonde *et al.*, 2015; Neves *et al.*, 2015). Los fragmentos de plásticos liberan contaminantes en el medio acuático, éstos son transferidos a distintos niveles tróficos de la fauna acuática por ejemplo por ser confundidos como alimento o al ser ingeridos accidentalmente, debido a la gran disponibilidad en el medio marino, se acumulan en su cuerpo provocando una reducción de la calidad de vida, disminución desempeño reproductivo, malnutrición e inanición en los organismos que los consumen (Andrady, 2011). Sin embargo, esta información es limitada y no se puede generalizar este efecto en todas las especies (De Vries *et al.*, 2020).

Los microplásticos transportan los contaminantes que lograron adsorber a las especies que viven en el medio acuático, de las cuales la mayoría son de interés económico por el consumo humano (Andrady, 2011). Por lo que surge una gran preocupación debido a la presencia de sustancias químicas de bajo peso molecular que son adsorbidas y que representan un peligro tóxico para la biota y quienes se alimentan de ellos (Deblonde *et al.*, 2015; Andrady, 2017).

La persistencia y presencia de los microplásticos en el ambiente contribuye a la fácil ingesta de la fauna marina como poliquetos, lombrices, peces (Thompson *et al.*, 2004) y bivalvos (Cauwenberghe y Janssen, 2014), los cuales son transferidos a un mayor nivel en la cadena trófica causando daño físico (Kumar *et al.*, 2018). Sin embargo, el impacto de los microplásticos en los ecosistemas de agua dulce es poco conocido (Wagner *et al.*, 2014; Anderson *et al.*, 2016), algunos organismos de agua dulce están consumiendo esta contaminación plástica (Holland *et al.*, 2016), y dado lo que se ha observado en ambientes marinos (Provencher *et al.*, 2015) es posible que existan impactos perjudiciales en los organismos de agua dulce, no obstante esta información es escasa y no se puede generalizar este efecto en todas las especies; son pocos los estudios que analizan la presencia de microplásticos en diferentes taxones, dejando a un lado las relaciones entre los microplásticos y los parámetros biológicos, como talla, peso, índice de condición o plenitud intestinal por dar algunos ejemplos; limitando la información respecto a los efectos negativos que estos pueden causar, además de las posibles alteraciones en la historia de vida o la fisiología de los organismos (De Vries *et al.*, 2020).

En las investigaciones de Free *et al.* (2014); Li *et al.* (2018) y Naji *et al.* (2019) afirman que a pesar de existir basta literatura sobre microplásticos en ecosistemas marinos, existe poca información sobre microplásticos en ecosistemas de agua dulce, por lo que sugieren realizar más investigación de contaminación por microplásticos en ecosistemas de agua dulce y manglares.

Existen pocos estudios toxicológicos sobre el impacto de los microplásticos en los organismos de agua dulce, por lo cual, es necesario generar más información para disminuir ese vacío de conocimiento sobre este tema (Anderson *et al.*, 2016). La fauna acuática es un excelente indicador de contaminantes, existen reportes de microplásticos presentes en los intestinos principalmente de peces (Andrady, 2017; Lysiak *et al.*, 2018; Akdogan y Guven, 2019), en este sentido el presente trabajo, pretende dar a conocer la cantidad y variedad de microplásticos en *Dormitator maculatus*, que es una especie representativa del Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), Veracruz, México, es seleccionada por su valor ecológico y económico, y consumo por el ser humano, con el fin de conocer si existe la presencia de microplásticos en el sitio, así como la

variedad y cantidad de éstos que se encuentran en intestino y branquias de *D. maculatus* y el sedimento del habitat del pez, río Acula de la Laguna de Alvarado.

Por otra parte, Portilla-Ochoa, (2003) y Ruíz-Fernández, (2014), indicaron que el SLA es un sitio de gran importancia ecológica, pesquera, económica y turística, se considera un área prioritaria para la conservación marina, terrestre e hidrológica. Posee una superficie de manglar importante, por lo cual, fue nombrado sitio RAMSAR por la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (SISR, 2004). Por esta razón es necesario conocer si existe contaminación por micropásticos en el ecosistema.

De acuerdo con Nor y Obbard, (2014), que analizaron microplásticos en sedimentos de lagunas costeras de manglar de Singapur, afirman que su presencia se debe a la degradación de plásticos marinos y que con el tiempo se acumulan en las zonas de manglar. Este trabajo se enfocará también en el análisis de microplásticos de sedimento de potreros aledaños al manglar y la especie *Dormitator maculatus*, especie elegida como organismo bioindicador del ecosistema por sus cualidades biológicas, ecológicas, su hábitat y tener importancia económica, al ser uno de los recursos pesqueros más importantes del SLA (Chávez-López *et al.*, 1994; Franco-López *et al.*, 2019; Dávila-Camacho y Galaviz-Villa, 2021).

2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Para poder abordar algún tema o problemática de investigación, tomamos como análisis alguna teoría cercana a la verdad, que pudiese ser casi irrefutable, de la cual podemos realizar una abstracción de ideas aplicables a un proceso de investigación. Bajo este contexto se tiene que considerar el desarrollo o interacción de cada una de las partes bajo ciertas condiciones conformando un sistema natural dinámico dentro del ambiente de forma compleja. Sin embargo, el ambiente está sometido constantemente a cambios provocados por actividades antropogénicas, principalmente los contaminantes tienen un comportamiento impredecible provocando un efecto impredecible del sistema (Torres, 1991). A nivel población e individuo la presencia de un contaminante afecta la capacidad reproductiva de un organismo zonas de estrés, debido al cambio en las características óptimas para la supervivencia de la especie, las zonas de intolerancia estarían descritas como estos sitios donde las condiciones estresantes ambientales están por encima de los límites tolerables. Existen límites de tolerancia para todos los factores ambientales importantes y para algunas especies. Sin embargo, el factor más importante es la regulación de la distribución y abundancia de ellas (Caneva *et al.*, 2000).

2.1 Contaminantes

A causa de las actividades antropogénicas el impacto ambiental aumento considerablemente en el último siglo, lo que ha generado una cantidad de problemas en el ambiente por la alta contaminación de los ecosistemas. Podemos definir como un contaminante a todo aquel que altere el medio ambiente por la acción de agentes físicos, químicos o biológicos, los cuales pueden afectar las condiciones del ambiente alterando el equilibrio del ecológico (Segura y Arriaga, 2003; Martí, 2007). La clasificación es muy variada, estos se pueden clasificar de acuerdo del interés, ya sea legal o académica, por su origen, ya sea natural o antropogénico o también por la característica del contaminante, los cuales pueden ser biológicos, químicos o físicos (Albert, 2004), de la misma manera se agrupan de acuerdo a su medio receptor por ejemplo, alguna matriz ambiental, atmosférico, urbanos o su medio de procedencia de lo cual se consideran industria eléctrica, agricultura, transporte, minería y metalurgia (Martí, 2007).

2.1.1 Contaminantes emergentes

Los contaminantes emergentes son considerados todos aquellos compuestos sintéticos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes y aditivos industriales, de los cuales no se presenta algún programa de tratamiento, ningún estatus regulatorio o se conoce poco de su comportamiento, los cuales provocan problemas sobre el ecosistema y salud humana (Gil *et al.*, 2012; Deblonde *et al.*, 2015). El estudio de estos contaminantes se ha centrado en conocer las rutas de dispersión, abarcando las fuentes de los contaminantes hasta llegar a los receptores; debido la escasa o deficiente información este tema ha tomado gran relevación y prioridad para la investigación avanzada en los últimos años; los problemas principales radican en las propiedades físico-químicas de los contaminantes, así como complejidad de las características ambientales que pueden establecer un comportamiento inesperado en el ambiente, convirtiendo en un grave problema a mediano y largo plazo (Gavrilescu *et al.*, 2015).

2.1.2 Características de los plásticos y microplásticos

Los plásticos están formados por polímeros sintéticos generados mediante procesos de polimerización, proceso en el cual un conjunto de monómeros forma enlaces para poder unirse formando cadenas lineales o tridimensionales dando lugar a una macromolécula generando un polímero (López-Carrasquero, 2004), generalmente este proceso se da a partir de combustibles fósiles. También son sintetizados por biomasa como de maíz y aceites vegetales, sin embargo, éstos últimos representan una minoría (Segura, 2007; UNEP, 2016). Los plásticos fragmentados que a su vez darán lugar a los microplásticos y sus características químicas y físicas, considerando de igual manera las características principales de los plásticos como lo son la impermeabilidad, baja conductividad eléctrica, versatilidad, resistencia, transparencia y la plasticidad (Segura, 2007; Andrady, 2011; UNEP, 2016). Los plásticos se pueden dividir principalmente en termoplásticos y termoestables, de los cuales los termoplásticos pueden moldearse repetidamente o deformarse en altas temperaturas y el material plástico termoestable, una vez formado, no se puede volver a moldear por fusión; con forme a los termoplásticos los principales son el cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS, incluido el EPS expandido), polietileno de alta y baja densidad (PE), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET); para los termoestables se consideran resinas o revestimientos epoxi y poliuretano (PUR) (UNEP, 2016).

2.1.3 Clasificación de los Plásticos

La clasificación de los plásticos se realiza principalmente de tres formas, en las cuales se consideran su tamaño, el tipo de monómeros del cual están hechos y origen (Liu *et al.*, 2020). La clasificación de los plásticos acuerdo a su tamaño están dadas de la siguiente forma, los nanoplásticos son menores a 0.1 μm , los microplásticos son los que tendrán un tamaño de 0.1 – 5 μm , los mesoplásticos son aquellos con un tamaño entre 5 – 25 μm , los macroplásticos tienen un tamaño entre 25 – 100 μm y los megaplásticos serán aquellos que sean mayor a 100 μm (Andrady, 2017; Jahnke *et al.*, 2017; Alimi *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2020). De acuerdo con las diferentes fuentes de monómeros y composición química, se pueden dividir en plásticos derivados del petróleo (Shimao, 2001), como lo son el polietileno, polipropileno, poliestireno, cloruro de polivinilo, poliamida y tereftalato de polietileno y plásticos de base biológica como el almidón, celulosa, polihidroxialcanoatos (PHA), ácido poliláctico (PLA), polietileno renovable y cloruro de polivinilo (PVC) (Karan *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2020), por último la clasificación de acuerdo a si origen se utiliza para describir particularmente a los microplásticos, descrito más adelante.

2.1.4 Microplásticos

Los microplásticos son pequeños fragmentos de plástico presentes en el medio ambiente, clasificados por su tamaño que van de 5 mm a 1 μm (Andrady, 2017; Zeng, 2018; Hartmann *et al.*, 2019). Generalmente son clasificadas por sus características morfológicas como lo es el tamaño, forma y color (Lusher *et al.*, 2019). Son contaminantes presentes en medio ambiente que han surgido debido a la gran demanda de artículos hechos de plástico (Ritchie y Roser, 2018); estos se utilizan diariamente por las características como la versatilidad, peso, protección y resistencia, siendo utilizados en gran cantidad en el sector alimenticio para empaquetar alimentos, se encuentra presente en casi todos los artículos de uso diario (Andrady, 2011; UNEP, 2016; ONU, 2018). Se ha registrado su presencia en gran medida en el medio marino, su presencia no se limita a los sedimentos marinos o suspendidos en el agua, también se registra su presencia dentro de la biota marina (Andrady, 2011; 2017).

2.1.5 Clasificación por su origen

Los microplásticos se pueden clasificar de acuerdo a su origen en primarios o secundarios, en el cual, los primarios son producidos a nivel industrial para que tengan esas características, los secundarios son aquellos producidos por la fragmentación generalmente de desechos plásticos de gran tamaño, estos se generan debido al uso de los productos o degradación de los plásticos expuestos en el medio ambiente, donde la mayoría son desechos (Andrady, 2011), estos últimos son los más predominantes en el ambiente, sin embargo, los microplásticos secundarios incluyen fragmentos de fibras textiles y fragmentos de películas provenientes del sector agrícola (Thevenon *et al.*, 2014; Andrady, 2017).

2.1.6 Problemática de los microplásticos

Un problema para el ambiente es el transporte de fragmentos plásticos que tienden acumularse en sedimentos terrestres y en el medio acuáticos (Zeng, 2018). Estos microplásticos por consiguiente serán ingeridos y acumulados por la vida acuática (biocumuladores), su ingesta provocará, reducción de la calidad de vida, disminución del desempeño reproductivo, malnutrición e inanición de los organismos que los consumen, sumado a esto se sabe que los microplásticos adsorberán contaminantes que serán transportados por estas especies que viven en el medio acuático de las cuales la mayoría son de interés económico por su consumo humano (Andrady, 2011). Surge una gran preocupación debido a la presencia de especies químicas de bajo peso molecular que son adsorbidas por los microplásticos presentando un peligro tóxico para la biota y quienes se alimentan de ellos (Thevenon *et al.*, 2014; Andrady, 2017).

2.1.7 Efectos tóxicos de los microplásticos

Los problemas derivados de la persistencia y disponibilidad de plásticos en el medio, contribuyen con el transporte de compuestos químicos tóxicos, que son absorbidos debido a sus cualidades físicas; dentro de los contaminantes destacados que se encuentran los pesticidas, fertilizantes y metales pesados (Thompson *et al.*, 2004; Rochman *et al.*, 2013), los cuales son ingeridos de forma accidental, por confusión y produciendo biomagnificación, para que bajo condiciones intestinales ácidas sean liberados, de los cuales la cantidad y tipo de contaminantes dependerá del ambiente de estudio (Bakir *et al.*, 2014; Batel *et al.*, 2016). Los principales efectos tóxicos

registrados sobre la fauna marina es la reducción en la producción de huevos de copépodos, la reducción del tamaño relativo de la población y las diferencias en el comportamiento alimentario del esturión cuando se exponen a presas alimentadas con microplásticos. (Paul-Pont *et al.*, 2016).

2.1.8 *Plastisphere*

La “Plastisphere” se define como el hábitat artificial creado por el hombre, único y potencialmente peligroso por la microbiota que se puede albergar, por ejemplo, el género *Vibrio* el cual es altamente patógeno para los humanos (Jacquin *et al.*, 2019). Se ha comprobado que también tiene la función de acumulación y transporte de microorganismos, lo cual aumenta el rango de distribución de especies bacterianas, hongos y diatomeas, actuando como vectores de enfermedades, de cual, la información es limitada aun cuando se considera que pueden surgir enfermedades por medio de la ingesta de plástico, lo que promueve la contaminación biológica (Zettler *et al.*, 2013). Los microorganismos presentes en los plásticos pueden alterar las comunidades microbianas de los ecosistemas naturales, amenazar la salud de la fauna o de los humanos, alterar función de los ecosistemas y ejercer diferentes efectos en los ecosistemas de agua dulce y salada. De acuerdo con Li *et al.* (2021), la composición y estructura de la comunidad en la plastisfera es distinta con especies únicas, estas comunidades presentan diferencias significativas con la microbiota y el medio acuático natural, de lo cual destacan agentes patógenos, aquellos que degradan compuestos y los cuales están estrechamente relacionadas con el ciclo del carbono, nitrógeno y azufre.

2.1.9 *Microplásticos en el medio acuático y fondo marino*

Veerasingam *et al.* (2016), afirma que las lluvias transportan plásticos terrestres a los ecosistemas marinos a través de los ríos, y sumado con los factores hidrográficos como las corrientes superficiales, los movimientos de las olas y los vientos es por ello que los principales medios de contaminación por plásticos en los ecosistemas marinos son los ríos, el tráfico marítimo y las actividades pesqueras (Thiel *et al.*, 2013; Desforges *et al.*, 2014; Naidu *et al.*, 2018).

Los microplásticos están disponibles en el medio marino, estos se pueden encontrar flotando en la superficie o en diferentes niveles de profundidad hasta llegar al fondo del cuerpo de agua de acuerdo con el tipo de plástico del cual este hecho y la densidad del agua (Engler, 2012). En el caso de los fondos marinos, la presencia, efectos y abundancia de plásticos y microplásticos se

han estudiado mucho menos que en el caso del agua y de las playas, la acumulación de plásticos en el fondo marino representa una gran preocupación, se estima que el 70 % de la basura marina se encuentra en las partes profundas de los océanos (PNUMA, 2005), estas dos situaciones en conjunto generan problemas en la calidad del agua, altera los microhábitats e impide el desarrollo de infinidad de especies (Frias *et al.*, 2016).

Tabla 1. Tipo de plásticos por su densidad sobre la columna de agua (Modificado de: GESAMP, 2015.).

Tipo de plástico	Distribución en densidad
Polipropileno (PP)	0.92
Polietileno (PE)	0.95
Poliestireno (EPS)	1.00
Poliestireno (PS)	1.09
Poliamida o nylon	1.15
Acetato de celulosa	1.24
cloruro de polivinilo (PVC)	1.30
Resina de poliéster	1.35
Tereftalato de polietileno (PET)	1.39

2.2 Importancia de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos son ecológicamente importantes, debido a la alta productividad generada gracias a la alta diversidad biológica (Ruiz-Fernandez, 2014). Dichos ambientes brindan diferentes servicios ecosistémicos, desde suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción hasta el control de crecidas, recarga de aguas subterráneas y la mitigación al cambio climático. Sin embargo, en numerosas regiones del mundo disminuye la superficie de los ecosistemas acuáticos y aumenta su degradación, por lo que los servicios ecosistémicos que estos ambientes proporcionan se ven afectados. (Cervantes, 2007; Kennish y Hans, 2010; Ruiz-Fernández, 2014).

2.2.1 Importancia de las lagunas costeras

Las lagunas costeras se caracterizan por ser cuerpos marinos o salobres poco profundos de salinidad variable, generalmente paralelas a la costa, separadas del océano por una barrera, isla barrera, arrecife o banco de arena y conectado eventual o permanente al océano, impidiendo el intercambio de agua entre la cuenca y el océano, esto a su vez va disminuyendo el impacto de las olas, el viento y las corrientes (Cervantes, 2007; Kennish y Hans, 2010).

Las lagunas costeras presentan alta diversidad, actividad y productividad tanto biológica como química; estos sitios funcionan como sitios de crianza, reproducción, refugio y fuente de alimento de gran variedad de organismos de los cuales podemos destacar a los peces, moluscos, crustáceos y aves (Herrera y Morales, 2010). Destacan sus funciones ambientales, ya que se considera a las zonas costeras como sitios de fuerte intercambio de materia y energía, aportando grandes cantidades de carbono orgánico e inorgánico y otros minerales al medio marino y terrestre (Mendoza *et al.*, 2013).

2.2.2 Importancia del Sistema Lagunar de Alvarado

El Sistema Lagunar de Alvarado representa un sitio con gran importancia ecológica, pesquera, económica y turística, considerada como un área prioritaria de conservación marina, terrestre e hidrológica (Ruíz-Fernández, 2014). Presenta una superficie manglar bastante extensa de los cuales destacan los bosques de mangle rojo *Rhizophora mangle*, mangle blanco *Laguncularia racemosa* y mangle negro *Avicennia germinans*, hábitat de gran diversidad biológica como moluscos, peces, aves, mamíferos anfibios y reptiles, siendo priorizado por la CONABIO como área de conservación y después declarado como sitio RAMSAR en 2004 a causa de la gran cantidad de aves en peligro de extinción o sitiadas bajo alguna categoría de amenaza (Portilla-Ochoa, 2003).

Los humedales que tiene el SLA representan un alto valor ecológico ya que en ellos coexisten diversas comunidades con distinta composición, formas de vida y estructura (Lara-Lara *et al.*, 2008), para Veracruz el SLA es de gran importancia, debido a la presencia de una alta riqueza biológica y productiva (Cervantes, 2007).

2.3 Importancia de los peces en el ambiente

Los peces presentan una alta diversidad en sistemas lagunares, utilizándolas como áreas de alimentación, crianza, reproducción y protección, por ende, resultan ser el grupo más representativo por su riqueza, distribución y abundancia (Lara-Domínguez *et al.*, 2011); interactuando de forma compleja como reproducción, reclutamiento o alimentación, los cuales a su vez están relacionados con los patrones de migración y el uso diferencial de los hábitats a causa de las variaciones espacio temporales del ambiente (Gelwick *et al.*, 2001; Barletta *et al.*, 2005; Able, 2005; Miller y Skilleter, 2006), influyendo directamente en la dinámica espacial y temporal de la diversidad y abundancia de las especies, así como en la composición de los ensamblajes de peces en el sistema (Pombo *et al.*, 2005; Barreiros *et al.*, 2009; Arceo-Carranza *et al.*, 2010)

2.3.1 Características generales de *Dormitator maculatus*

D. maculatus es un pez descrito por Bloch en 1792, perteneciente a la familia Eleotridae conocido comúnmente como “naca” o “dormilón gordo”, presente en el sistema lagunar de Alvarado (Franco López *et al.*, 1996), es un pez detritívoro y demersal, presente en ambientes salobres como bocas de los ríos, lagunas costeras, estuarios, manglares, arroyos y humedales. En temporadas de secas se puede encontrar esta especie bajo el fango, y en condiciones de poco oxígeno, en cambio en temporadas de lluvias se encuentra en la desembocadura de los ríos para desovar en el mar (Dávila-Camacho y Galaviz-Villa, 2021; Froese y Pauly, 2021). De *D. maculatus* se reporta su presencia desde Carolina, Estados Unidos hasta Brasil, abarcando gran parte del Atlántico con un rango de distribución de latitud 37 ° Norte a - 5 ° Sur (Franco-López *et al.*, 1996; Froese y Pauly, 2021).

D. maculatus presenta cabeza ancha con escamas, aletas pélvicas separadas, ápice trunco, presenta de filas de dientes mandibulares y móviles, tiene un dorso de color gris oscuro, a sus costados pardo amarillento, con barras, presenta cambios de coloración durante la reproducción. Presenta de 1 - 7 espinas dorsales, de 9 - 15 radios blandos dorsales, 0 - 1 espinas anales y 9 - 10 radios anales blandos. (Froese y Pauly, 2021). Presenta un tamaño promedio de 10.2 cm, máximos de 17 cm y mínimos de 4.4, una proporción de sexos 1M:0.87H de la cual en temporada de reproducción cambia 2M:1H, se reporta un crecimiento general alométrico positivo y machos ligeramente más grandes (Dávila-Camacho y Galaviz-Villa,

2021).

2.3.2 Importancia de *D. maculatus* en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz

Forma parte de la comunidad ictiofuanística y de la red trófica del ecosistema del SLA siendo consumidor primario y siendo alimento de otras especies por encima de la red trófica, de la misma manera al ser un pez detritívoro contribuyen al bienestar ambiental (Franco-López *et al.*, 2019). *D. maculatus* presenta importancia económica, ya que la especie capturada en temporada de lluvias en la desembocadura de la laguna para poder extraer la gónada y venderlas a precio considerable, generando un fuerte ingreso económico para los pobladores en esta temporada (Franco-López *et al.*, 1996; Dávila-Camacho y Galaviz-Villa, 2021).

3 ANTECEDENTES

La persistencia de los plásticos en los ecosistemas acuáticos es un problema que provoca grandes daños debido a la contaminación que genera como problemas físicos en las especies incluyendo a los humanos, transporte y liberación de xenobióticos además de la microbiota que transporta (Li *et al.*, 2021), ha dado lugar a un gran número de investigaciones relacionadas con la contaminación por plásticos, aunque existen bastantes trabajos que analizan microplásticos en sedimentos, la gran mayoría de ellos son en playas, sin embargo, en menor cantidad se han realizado investigaciones en aguas continentales, principalmente bahías; a continuación, se describen algunos de éstos: Nuelle *et al.* (2014) analizaron sedimento de la isla de Norderney, costa del Mar del Norte (Alemania), por medio de un método propuesto para extraer microplásticos de los sedimentos, utilizando la técnica de desbordamiento inducido por aire, apoyado en la fluidización en una solución de cloruro de sodio para seguir con la cromatografía de gases de pirólisis/espectrometría de masas identificando PP, PVC y PET.

Wessel *et al.* (2016) estudiaron la abundancia de los desechos microplásticos de Mobile Bay, una bahía que se encuentra en Alabama, Estados Unidos, al norte del Golfo de México, en la cual se presentaron concentraciones de 66 a 253 veces mayores que las reportadas para el océano abierto de las cuales los polímeros polipropileno y polietileno fueron los más abundantes. Encontraron una relación positiva de la abundancia y diversidad de microplásticos, con lugares expuestos directamente a las corrientes y mareas marinas.

Shruti *et al.* (2019) analizaron la abundancia, distribución y características morfológicas de los microplásticos en la cuenca del río Atoyac ubicado en Puebla, México, río del cual seleccionaron 29 sitios a lo largo de la cuenca de cuatro zonas diferentes: río Zahuapan, río Atoyac, zona de confluencia y presa de Valsequillo. La extracción de microplásticos fue por medio de separación por densidad con $ZnCl_2$, encontrando la cantidad de 1633.34 ± 202.56 items kg^{-1} en el río Zahuapan, 1133.33 ± 72.76 items kg^{-1} para río Atoyac, 833.33 ± 80.79 items kg^{-1} en zona de Confluencia y 900 ± 346.12 items kg^{-1} presa Valsequillo. Las concentraciones más altas de microplásticos fue mayor a la parte inferior de la cuenca como reflejo de la urbanización e industrialización. Se encontraron microplásticos en su mayoría con 51 % y 49 % de microplásticos blancos, en cuanto la morfología el 25.9 % fueron películas, 22.2 % fragmentos y 14.8 % fibras. Por medio del microscopio electrónico de barrido y espectrometría de rayos X se observó las diferentes formas de desintegración y contaminantes metálicos en la superficie.

Zamprognó *et al.* (2021) realizaron un estudio de la distribución y tipos de microplásticos en sedimentos superficiales de 16 puntos en la Bahía de Vitória, Sureste de Brasil, es una zona de manglar asociados la presencia y actividades urbanas. Se encontraron 2175 partículas de microplásticos en la cuenca de manglares y la franja de los sitios analizados con altos niveles de microplásticos en los sitios de la cuenca donde el color azul es el predominante con un (54 %), así mismo encontraron una correlación positiva entre los microplásticos y la densidad de vegetación muerta. Aunque ya existen estudios en ecosistemas acuáticos continentales hasta el momento no se ha encontrado alguno que realice un estudio de microplásticos en el SLA.

Respecto a los estudios de los microplásticos en peces, estos se han centrado en el análisis de peces con distribución en agua marinas, de lo cual la mayoría son especies de interés comercial por consumo humano, enfocado a la cantidad y variedad de microplásticos además de los componentes tóxicos asociados a ellos, dejando a un lado las especies con distribución en aguas continentales o los estudios con sentido ecológico, algunos de los trabajos donde se tratan de abarcar estos temas son: Phillips y Bonner (2015) identificaron la presencia y tipos de microplásticos ingeridos por los peces dentro de varios drenajes de agua dulce de Texas en el Golfo de México y del estuario Laguna Madre ubicado en el Golfo de México, en los cuales examinaron 535 peces de los cuales el 8 % de los peces que eran de agua dulce y el 10 % de los peces marinos tenían microplásticos en el tracto intestinal. La presencia de los microplásticos ingeridos por peces en arroyos no urbanizados (5 %) fue menor que el de uno de los arroyos urbanizados (29 %), los porcentajes de presencia por hábitat y hábitos de los peces fueron similares sin embargo la presencia de microplásticos muestran contaminación por microplásticos en las cuencas hidrográficas del Golfo de México.

De Vries *et al.* (2020) realizaron un estudio de los microplásticos en intestinos de *Gadus morhua* y *Pollachius virens* en Islandia, analizando su relación con el peso, la longitud, la plenitud intestinal y el índice de condición de los cual encontraron microplásticos en el 20.5 % de las 39 muestras analizadas *G. morhua* y en el 17.4 % de las 46 muestras de *P. virens*. Para el análisis estadístico no encontraron una correlación significativa entre la plenitud intestinal o el índice de condición y la cantidad de microplásticos, concluyendo que los individuos de gran tamaño no retienen los microplásticos de forma considerable, por ende, el factor de condición no se ve afectado. Por otro lado, encontraron una diferencia en la longitud de los peces entre los peces que con plástico y los peces que no tienen plástico.

Martinez-Tavera *et al.* (2021) señalaron que las concentraciones de microplásticos y metales en *Oreochromis niloticus* de la cuenca del río Atoyac, México, encontrando 139 fibras del tracto gastrointestinal, con un color negro predominante del (40%), de las cuales se encontraron fibras plásticas y no plásticas. En cuanto a las concentraciones de metales se encontraron grandes cantidades en el hígado con 259.24 mg kg¹, para poder contratar con la salud humana utilizaron el coeficiente de riesgo potencial Hazard Index presentó valores de Pb y Zn por encima de la unidad, tanto en adultos como en niños, sin embargo, no se encontró relación entre la presencia de microplásticos y metales.

Jonathan *et al.* (2021) analizaron la presencia de microplásticos en el contenido intestinal de las especies *Calamus brachysomus*, *Paralabrax maculato fasciatus*, *Eucinostomus dowii*, *Balistes polylepis*, *Achirus mazatlanus* y *Mugil curema* que se distribuyen en la Bahía Magdalena, Costa del Pacífico, México. Se encontraron 64 microplásticos en 87 muestras individuales de los cuales 30 se encontraron en *E. dowii* y 27 en *P. maculato fasciatus*. Con un tamaño promedio de 100 µm principalmente en color blanco-transparente con un 43% y azul 36%. La ingesta de microplásticos y sus diferencias entre especies se deben principalmente a los hábitos alimenticios y las estrategias de alimentación, así como la disponibilidad de plásticos específicos de cada especie.

Hasta la fecha no se ha encontrado ningún estudio donde se analice los microplásticos en *D. maculatus* dentro del SLA como especie de interés, ya que se han enfocado en la descripción de la ecología de la especie, algunos de los trabajos que más destacan son:

Flores-Coto y Zavala-García. (1981) en su trabajo “*Descripción de huevos y larvas de Dormitator maculatus (Bloch) de la laguna de Alvarado, Veracruz. (Pisces: Gobiidae)*” realizaron un estudio sobre el desarrollo larvario de *D. maculatus* en la Laguna de Alvarado, Veracruz, describiendo sus características en distintas fases larvianas y comparando el crecimiento bajo condiciones controladas de laboratorio y desarrollo natural, en las cuales no se encontraron diferencias significativas en su desarrollo en distintos habientes.

Montoya *et al.* (2004) realizaron la investigación titulada “*Helminthos del pez Dormitator maculatus (Osteichthyes: Eleotridae) de Alvarado, Veracruz, México*”, en el cual realizaron una revisión de helmintos parásitos presentes en *D. maculatus* de la Laguna de Alvarado, determinando la presencia de *Clinostomum complanatum*, *Neoechinorhynchus golvani*, *Spiroxys sp.* y *Camallanus sp.*, los cuales causan una reducción del hematocrito en los especímenes parasitados en comparación de los que no lo están.

Dávila-Camacho *et al.* (2017) estimaron el factor de bienestar en el medio natural de *D. maculatus*, describiendo una relación positiva entre el aumento de la talla y la época reproductiva, así como el aumento de especímenes en maduración sexual con relación al punto anterior Franco-López *et al.* (2019) realizaron el trabajo “*Ecological Aspects of Dormitator maculatus (Bloch, 1792) in the Alvarado Lagoon, Veracruz, México*” describen los aspectos ecológicos de *D. maculatus* en la cual reportan una reducción poblacional después de estimas la tasa de crecimiento. En este trabajo se reporta una proporción de sexos de 1M:1H (machos y hembras respectivamente), la longitud de 3 a 14.7 cm (M) y de 3.9 a 15.9 cm (H).

Dávila-Camacho y Galaviz-Villa (2021) describen en “*Basic Biological Aspects of Dormitator maculatus (Bloch, 1792) from the Alvarado Lagoon in Veracruz, México*” los aspectos biológicos básicos de una población de *D. maculatus*, se determinó una longitud promedio de 10.2 cm (máx = 17 cm y mín = 4.4), una proporción de sexos en temporada de reproducción de 2M:1H, y el resto de los meses del año una proporción 1M:1H, también se reporta un crecimiento alométrico positivo general y machos ligeramente más grandes.

Franco-López *et al.* (2021) evaluaron la relación del peso con la longitud y las medidas biométricas de *D. maculatus* en la Laguna de Alvarado en su trabajo que lleva por nombre “*Biometric relationships of the fat sleeper Dormitator maculatus (Bloch, 1792) (Teleostei: Eleotridae) from Alvarado lagoon, Veracruz, Mexico*”, en el mencionan que la naca crece igual en longitud que en peso, es decir, presentan un crecimiento de tipo isométrico.

4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Planteamiento del problema

La contaminación es un problema latente derivado de la actividad antropogénica de forma desmedida, esto ha provocado problemas en el ambiente como el cambio de uso de suelo, contaminación atmosférica, sobre explotación de recursos naturales, pérdida de biodiversidad, y sobreexplotación recursos marinos (Segura *et al.*, 2003; Tellería, 2013; Pérez-García, 2020; Muñoz-Rojas *et al.*, 2021; Timmis y Ramos, 2021). La excesiva contaminación por basuras marinas es un gran problema global debido a la degradación de los ecosistemas impidiendo funciones fisiológicas, el crecimiento y la supervivencia de la biota que reside en ella (Escobar, 2002; Browne *et al.*, 2015; Rivas, y Garelli, 2021), esto ha sido de gran preocupación debido a la cantidad de recursos y especies aprovechables como lo es el alimento, energéticos y fármacos, esto ha provocado una gran cantidad de estudios para poder entender, así como aminorar el impacto que se genera en el medio ambiente (Tolba, 1992; Escobar, 2002; Botello, 2016), sin embargo, unos de los problemas que han tomado mayor importancia en los últimos años es la contaminación por plásticos (Andrady, 2011; Thevenon *et al.*, 2014; Barboza y Jimenez, 2015; Lusher *et al.*, 2017; Alimi *et al.*, 2018).

Los plásticos son materiales sintéticos generados a partir de petróleo mediante procesos de polimerización (Moore, 2008; Segura, 2007; Thevenon *et al.*, 2014). Gracias a la utilidad y gran demanda las cantidades de plásticos aumentaron considerablemente en las últimas décadas, en consecuencia de esta gran demanda también aumentaron los desechos plásticos, situación que se han convertido en uno de los problemas más graves debido al impacto que se genera en el medio ambiente y particularmente en el medio marino, no solo en las zonas costeras de países con un manejo inadecuado de estos desechos, ya que estudios demuestran su presencia en los océanos, debido a que las partículas se extienden por grandes distancias en la capa superficial del océano impulsada por el viento (Moore, 2008; Thevenon *et al.*, 2014; Rivas, y Garelli, 2021).

La problemática radica en la presencia de los plásticos en el ambiente y en los efectos que pueden provocar los microplásticos en aquellas especies que pueden llegar a ingerirlo (Andrady, 2011; 2017), ya que este funciona como medio de transporte de diversos contaminantes a la red trófica incluyendo al humano, además de provocar una disminución en

la calidad de vida del consumidor, afectando la calidad de vida, desempeño reproductivo, inanición y su ecología de nivel especie o población (Li *et al.*, 2021).

5 JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas acuáticos se están viendo afectados por el ingreso de plásticos y microplásticos, al agua, sedimentos y biota. Estos contaminantes se generan en los ecosistemas terrestres y la mayoría llegan a ecosistemas marinos (Wright *et al.*, 2020). En las últimas décadas este tipo de contaminación se ha acelerado a tal grado que causa preocupación por las repercusiones que tienen en los organismos y lo *que puede ocurrir a los ecosistemas en general* (Andrady, 2011; Li *et al.*, 2018; Igalavithana *et al.*, 2022).

Debido a que los microplásticos son un gran problema ambiental que se ha generado por la demanda y degradación de plásticos. Se ha reportado la presencia de microplásticos en el medio marino, sedimento y dentro de la biota marina generando grandes problemas para la fauna que actúa como bioacumulador, los microplásticos adsorben contaminantes que serán transportados hacia las especies que viven en el medio acuático de las cuales la mayoría son de interés económico por su consumo humano (Andrady, 2017; Zhang *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021). Además, se han clasificado los tipos de microplásticos por su origen, tamaño, color y se ha señalado que en su proceso de degradación cada tipo de microplástico libera diferentes sustancias tóxicas para los organismos que los ingieren (Andrady, 2017; Wright *et al.*, 2020).

Se ha generado una gran cantidad de literatura sobre microplásticos en ecosistemas marinos, sin embargo, hasta el momento se considera escasa la información generada sobre microplásticos en ecosistemas de agua dulce y salobre, por lo que sugiere realizar más investigación de contaminación por microplásticos en ecosistemas de agua dulce y manglares (Free *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018; Najji *et al.*, 2019).

Portilla-Ochoa, (2003) y Ruíz-Fernández, (2014), han mencionado que el Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz, destaca por su importancia ecológica, pesquera, económica y turística, se considera un área prioritaria para la conservación marina, terrestre e hidrológica. Como se sabe las lagunas costeras son cuerpos de agua salobre con influencia de mareas, poco profundas de salinidad variable, ellas tienen gran importancia biológica y ambiental con respecto a las especies marinas, puesto que los ciclos de vida de diversas especies se realizan en los dos ambientes, combinando el marino y costero, sirven de refugio, anidación y cunero de diversas especies por sus manglares y humedales, algunas de ellas son consideradas áreas naturales protegidas, fue nombrado sitio RAMSAR por la Comisión de Áreas Naturales Protegidas en 2004 (SISR, 2004).

Adicionalmente, para los ecosistemas terrestres sirven como barreras naturales contra los embates de la naturaleza, es por ello que requieren atención en varios sentidos (Cervantes, 2007; Kennish y Hans, 2010; Mendoza *et al.*, 2013). Tienen importancia ecológica, social y económica, por la extracción de la gran variedad de peces comerciales con alto valor económico y entre ellos *D. maculatus*, que además de tener importancia ecológica para otras especies, tiene importancia económica pues de la cual se extraen las gónadas de las hembras con las que realizan platillos típicos de la región (Ré-Regis y Estrada-García 1992; Montoya *et al.*, 2004).

Con base en lo anterior, este trabajo pretende estudiar la presencia de microplásticos en *D. maculatus* de la Laguna de Alvarado y sedimento donde habita semi enterrado. *D. maculatus* tiene gran importancia biológica, económica, social y salud-humana. Por lo cual, se propone como bioindicador, por su hábitat en que se desarrolla y nivel trófico que ocupa, alimento principal de especies de importancia económica, así como, la relación directa en la salud humana, además de ser una especie nativa de los ecosistemas costeros eurihalinos del Golfo de México (Nordlie y Haney, 1993; Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Páez-Osuna y Osuna-Martínez, 2011).

La importancia de este tipo de estudio radica en comprender, monitorear, para prevenir o reducir los impactos de este tipo de contaminación, para la conservación de los ecosistemas, la fauna marina que bioacumulan y transfieren al ser humano (Thompson, 2004; Li *et al.* 2018; Naji *et al.* 2019). El análisis de la ingestión, acumulación en branquias y presencia en sedimentos nos permitirá conocer y confirmar la presencia de microplásticos en el SLA, además nos permitirá conocer si existe la presencia de contaminación por microplásticos en el ecosistema, establecerá una base para futuras investigaciones relacionadas con los impactos a largo plazo de los desechos plásticos en los ecosistemas costeros y marinos. Este trabajo es importante porque será un referente para conocer el impacto que tienen estos contaminantes emergentes en el SLA, dicho esto es fundamental “evaluar la presencia, variedad y cantidad de microplásticos presentes en *Dormitator maculatus* y sedimento del río Acula perteneciente a la Laguna de Alvarado”.

6 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la presencia, variedad y cantidad de los microplásticos que se encuentran en *Dormitator maculatus*, y sedimento del Río Acula de la Laguna de Alvarado?

7 HIPÓTESIS

La presencia de microplásticos en *Dormitator maculatus* y en el sedimento de su hábitat, reflejarán la contaminación de la Laguna de Alvarado.

8 OBJETIVOS

8.1 Objetivo general

Evaluar la presencia, variedad y cantidad de microplásticos presentes en *Dormitator maculatus* y sedimento del Río Acula perteneciente a la Laguna de Alvarado; Veracruz.

8.2 Objetivos Particulares

- Determinar la presencia, cantidad y variedad de microplásticos presentes en branquias e intestinos y su relación con los aspectos biométricos de *Dorminator maculatus*.
- Determinar la presencia cantidad y variedad de microplásticos presentes en sedimento del Río Acula.
- Analizar los microplásticos obtenidos en *Dorminator maculatus* y sedimento del Río Acula.

9 MATERIAL Y MÉTODOS

9.1 Área de estudio

El SLA está conformado por cuatro lagunas costeras salobres y someras interconectadas: Alvarado (4452.5 ha), Buen País (512.5 ha), Camaronera (2212.5 ha) y Tlalixcoyan (1460 ha); también incluye más de 100 lagunas interiores y recibe aportaciones de los ríos Papaloapan, Acula, Blanco y Limón, se localiza en el municipio de Alvarado, en la zona central del Estado de Veracruz al suroeste del Golfo de México (Figura 1) (Portilla Ochoa, 2003; Ruiz-Fernández, 2014). Presenta ambientes acuáticos inundables, manglares, y vegetación acuática flotante y enraizada emergente (Portilla Ochoa, 2003) Cuenta con un clima cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor que 22 °C, temperaturas mínimas frío 18 °C y una precipitación media anual de 500 a 2500 mm con promedio anual es de 2.077,9 mm. Presenta temporada de secas de marzo a mayo, lluvias de junio a octubre, y nortes de noviembre a febrero. Los suelos por tipo distribuido en Gleysol 38%, Vertisol 24%, Arenosol 15% y Solonchak 2% (García, 2004; Ruiz *et al.*, 2014).

La Laguna de Alvarado, está localizada al sureste del Estado de Veracruz con una longitud aproximada de 26 Km, ubicada entre los paralelos 18°44' y 18°52'15" de latitud norte y los meridianos 95°44' y 95°57' de longitud oeste (Figura 1). Su forma alargada y es más o menos paralela a la línea de costa. La laguna de alvarado es considerada un complejo lagunar, que comprende un cuerpo de agua central que se comunica mediante la Boca de Tragadero hacia el sur, con la Laguna de Tlaexcoyacan en la que desembocan los ríos Blanco y Camarón; hacia el noroeste, pasando por la pequeña Laguna de Buen País y mediante un estrecho canal, se une con la Laguna Camaronera, además se conecta al mar mediante una sola boca, situada en su extremo noroeste. Los principales ríos que desembocan en la laguna son el Papaloapan, Camarón, Blanco y el Río Acula, que se conecta directamente con el cuerpo de agua central (Villalobos *et al.*, 1966; García, 1970; Reséndez, 1973; Flores-Coto, y Méndez-Vargas, 1982).

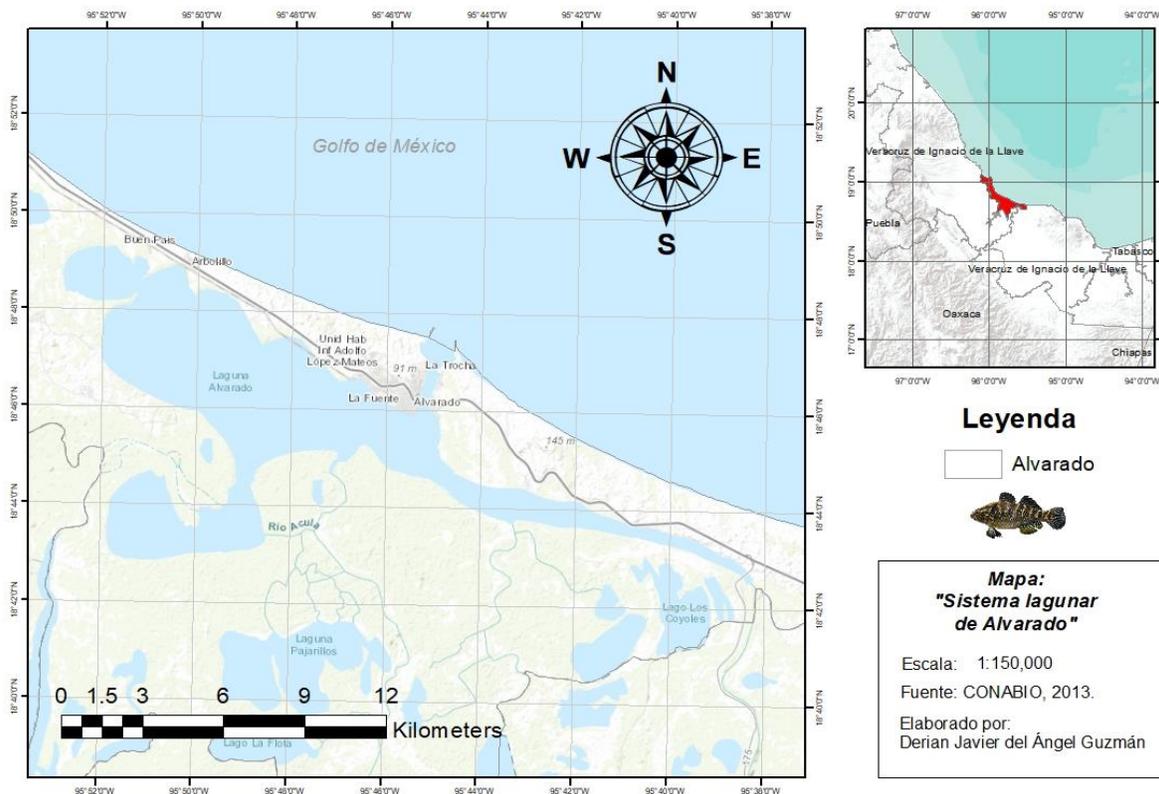


Figura 1. Localización del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz.

9.2 Muestreo de organismos

Se realizó el muestreo en el mes de septiembre del 2021 en el SLA, Veracruz, en época de reproducción de la especie y época de lluvias (Ré-Regis y Estrada-García, 1992; Salas-Pérez y Arenas-Fuentes, 2011). Se colectaron 127 organismos: 51 machos y 76 hembras, cerca de la desembocadura de la laguna de Alvarado (Figura 2) cuando los peces viajan en cardumen hacia el mar, con red agallera con luz de malla de 1.5 pulgadas, apoyados en la actividad pesquera. Los especímenes fueron transportados en un contenedor de plástico con hielo al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

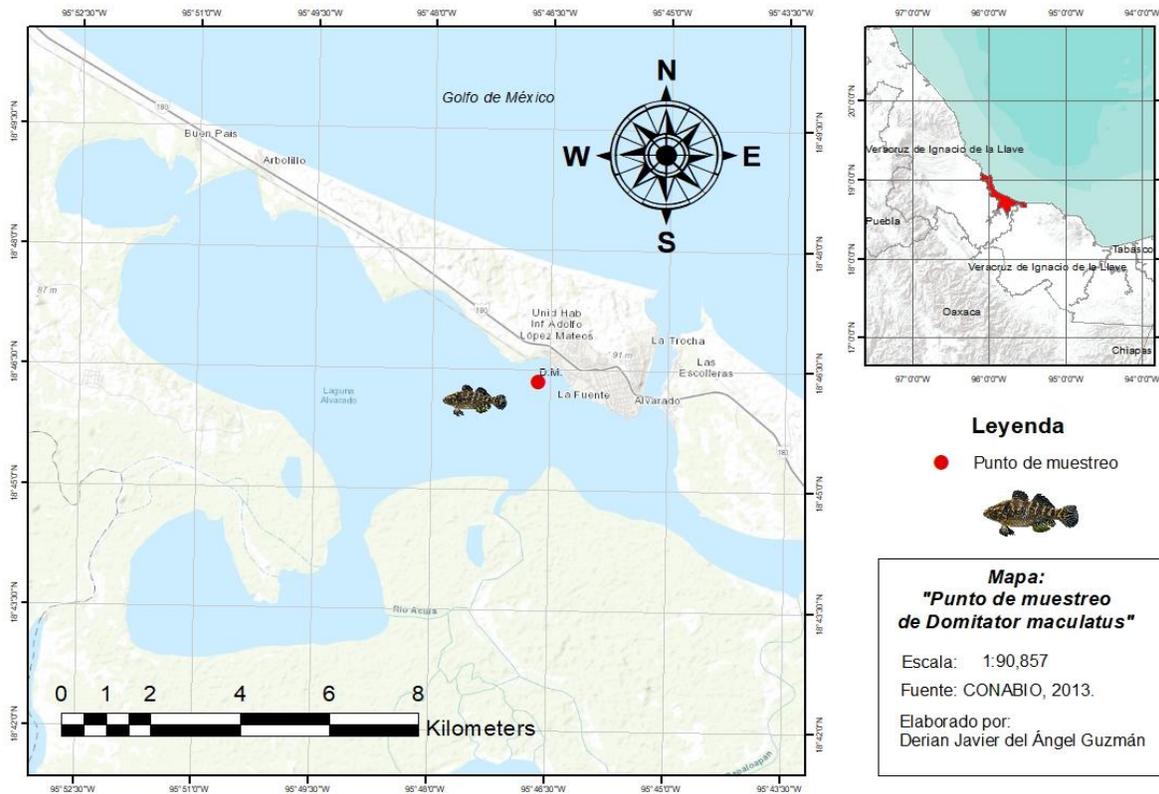


Figura 2. Sitio de muestreo de *Domitator maculatus*; en el Sistema Lagunar de Alvarado, Ver.

9.3 Biometría y extracción de branquias e intestinos

De cada espécimen se registró datos de sexo, peso (g) y longitud total (cm) utilizando balanza digital electrónica e ictiómetro respectivamente (Ory *et al.*, 2018). Se disectaron los ejemplares para extraer los intestinos completos, de los cuales se registró longitud y peso de cada uno (Figura 3). De igual manera se separó y peso cada una las branquias para poder registrar sus datos (Atamanalp *et al.*, 2022).



Figura 3. Disección, biometrías y clasificación de plenitud intestinal de ejemplares.

9.4 Plenitud intestinal

Los intestinos de los peces fueron clasificados visualmente, de acuerdo con el contenido del intestino, estos se calificaron en estómago vacío, medio lleno o lleno de acuerdo con De Vries *et al.*, 2020.

9.5 Degradación de tejido y filtración

Para la extracción de microplásticos se siguió la metodología utilizada por Avio *et al.*, 2015 y Lusher y Hernández en 2018 con las respectivas adecuaciones. Los intestinos y branquias fueron puestos en frascos debidamente etiquetados para su degradación por medio de digestión alcalina (Figura 4), utilizando una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10 % acelerando el proceso en horno, a una temperatura 60 °C por 4 horas. El contenido fue filtrado con ayuda de una bomba de vacío y papel filtro de poro fino con capacidad de retención de 1 μm (Figura 5), para después poder examinarlo bajo microscopio estereoscópico con capacidad de aumento 40x.



Figura 4. Digestión de branquias e intestinos de *Dormitator maculatus*.



Figura 5. Filtrado de la degradación de intestinos y branquias con bomba de vacío.

9.6 Relación Longitud-peso

Se analizó la relación de longitud-peso mediante una regresión lineal, calculando los valores de a y b de la ecuación, donde a es el intercepto y b es la pendiente de la relación transformada logarítmicamente (Teissier, 1948; Froese, 2006).

$$W = aL^b$$

Donde:

- W = peso total en gramos.
- L = longitud en cm.
- a = coeficiente de forma (constante de regresión) equivale al factor de condición (K).
- b = coeficiente de regresión (coeficiente de alometría).

Basado en la pendiente (b) de la relación entre el peso y la longitud, nos permite comprobar si el crecimiento es isométrico cuando $b = 3$, ya que todas las dimensiones de los peces aumentan al proporcionalmente, cuando $b < 3$ presenta un crecimiento alométrico negativo, en este caso existe un aumento de peso menor con respecto al aumento en de longitud, es decir, se vuelve más alargado a medida que crece; por último cuando $b > 3$ presenta un crecimiento alométrico positivo, existe un aumento de peso respecto a la longitud, ya que se vuelve menos alargado o más redondeado a medida que crece (Froese, 2006 y Froese *et al.*, 2011).

9.7 Índice de condición de Fulton (K)

Para poder calcular el índice de condición de Fulton y establecer el grado de bienestar se utilizó la ecuación propuesta por Fulton (1904) y modificada por Ricker (1975):

$$K = 100 * \frac{W}{L^3}$$

Dónde:

- K = factor de condición de Fulton.
- W = peso total del organismo (g).
- L = longitud total del pez (cm).

Se multiplica por 100 para poder acercarlo a la unidad. Fulton es un índice que no permite

establecer la salud del pez, siendo 1 un pez buen estado de salud (saludables), <1 indica un pez “delgado” y >1 un pez “gordo”.

9.8 Muestreo de sedimentos

Se localizaron tres puntos de muestreo, ubicando el hábitat común del hábitat de *D. maculatus*, se georreferenciaron los sitios muestreados (Figura 6) y con ayuda de un nucleador se tomaron las muestras de sedimento, los cuales fueron depositados en recipientes de plástico con capacidad de dos kilogramos, se rotularon y congelaron para su posterior tratamiento, para ser transportados al LIRA del ITBOCA.

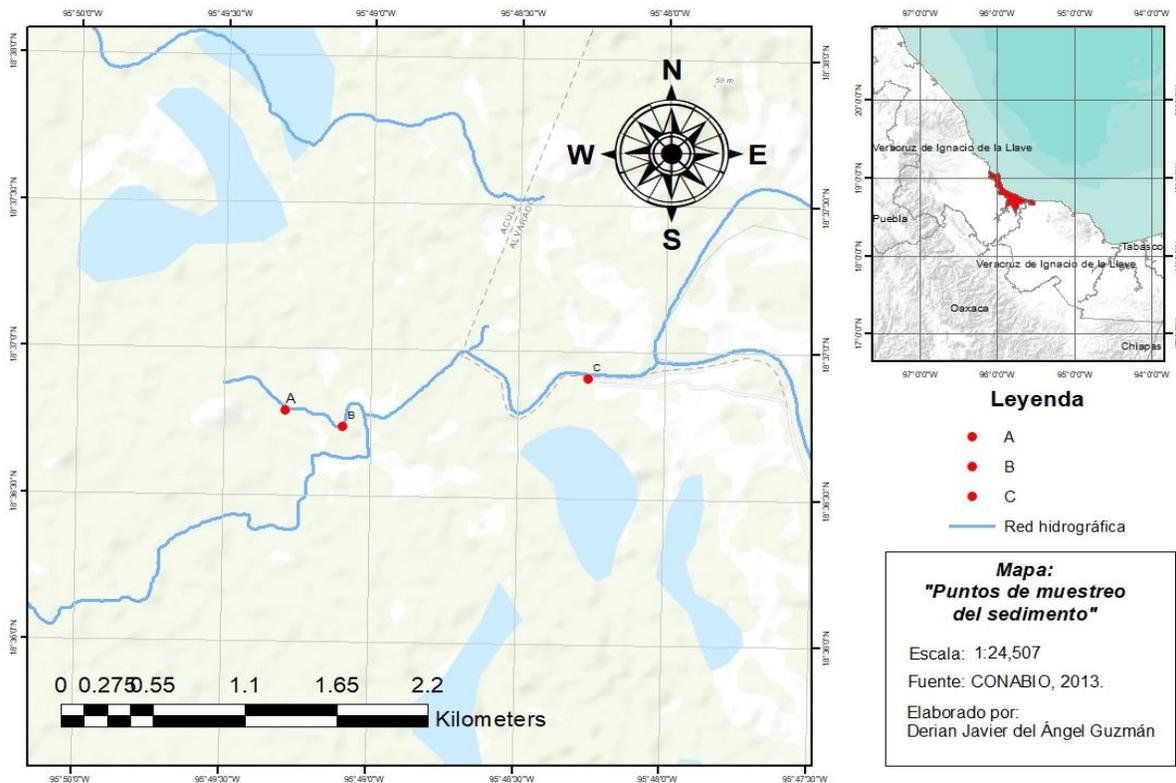


Figura 6. Sitios de muestreo del sedimento en el Río Acula, Veracruz.

9.9 Tratamiento del sedimento

Respecto al tratamiento del sedimento, para poder extraer los microplásticos en sedimentos se utilizó la metodología propuesta Masura *et al.* (2015) con las respectivas adecuaciones. El sedimento se colocó en charolas de aluminio cubierto con papel aluminio y secado en horno a 80 °C por 72 horas debido a la humedad que presentaba (Arthur *et al.*, 2009), del sedimento seco se tomó 500 g por cada muestra (Besley *et al.*, 2017; Prata *et al.*, 2019); posteriormente se agregó peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30% para degradar la materia orgánica y agua destilada para detener la reacción, de igual manera se adicionó hexametáfosfato de sodio [(NaPO₃)₆] al 5 % como agente dispersante, dejando reposar por 24 horas de acuerdo a lo establecido con Masura *et al.* (2015). Transcurrido el tiempo de reposo se realizó un lavado del sedimento con agua destilada, con un tamiz de malla 93 con apertura de 0.093 mm, una vez terminado el procedimiento, se colocó nuevamente en charolas de aluminio para secarlo en estufa a 80 °C por 72 horas. Por último, se tamizó con ayuda de un Ro-Tap por veinte minutos, utilizando un juego de tamices de mallas No. 30, 20, 16, 10 y 4 con abertura de 0.63 mm, 0.90 mm, 1.10 mm, 2.50 mm y 5 mm respectivamente.

9.10 Flotación por densidad y filtración (sedimento)

A cada muestra de sedimento se agregó suficiente solución salina saturada, con 6 g de cloruro de sodio (NaCl) por cada 20 ml de agua destilada; para así poder separarlos por densidad (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012; Masura *et al.* 2015; Naji, 2019). El líquido superficial junto con el sobrenadante fue filtrado con ayuda de una bomba de vacío, en papeles filtro de poro fino con capacidad de retención de 1 µm, para después examinar bajo microscopio estereoscópico con capacidad de aumento 40x (Masura *et al.*, 2015; Naji, 2019).

9.11 Análisis de microplásticos

Los microplásticos fueron clasificados de acuerdo con su forma, color y tamaño, para la forma se clasificó en: láminas, perlas, fibras, y fragmentos (Figura 7). Los microplásticos se clasificaron por el color predominante que presentaba: rojo, verde, azul, amarillo, blanco y transparente. Por último, para el tamaño se clasificaron en los siguientes rangos: 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 3.5 mm, 4.0 mm, 4.5 mm y 5.0 mm (De Vries *et al.*, 2020).



Figura 7. Análisis de microplásticos en microscopio estereoscópico por forma, color y tamaño.

9.12 Tratamiento de datos

Se realiza una prueba de normalidad de datos, seguidas por pruebas de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis y regresiones lineales para tratar los datos de *D. maculatus* según correspondieran, además, se realizó una prueba de normalidad, una ANOVA y Tukey para los sedimentos.

Las pruebas estadísticas se realizaron por medio de diferentes programas estadísticos, como lo son Excel, Minitab y Sigmaplot.

10 RESULTADOS

10.1 Biometría

De los 127 (n) organismos, se presentaron 51 machos y 76 hembras; de los cuales las medidas respectivas son presentadas en la tabla 1 como: Longitud total = LT (cm), Peso total = PT (g), Longitud Intestino = LI (cm), Peso Intestino = PI (cm) y Peso Branquias = PB (g). Los organismos analizados presentan una talla total media de 13.79 cm y un peso total medio de 44.51 g, se muestra un máximo de talla con 17.60 cm y mínimo de 10.50 cm, respecto al peso total fue un máximo de 102 g y un peso menor de 18.30 g, la longitud del intestino tiene un valor medio de 54.87 cm con un máximo de 87 cm y mínimo de 14 cm, el valor medio para el peso del intestino es de 0.19 g, con un valor máximo de 1.87 g y un mínimo de 0.001 g, por último, el peso de las branquias presenta un valor medio de 0.17 g con un valor máximo de 2.02 g y un mínimo de 0.0005 g.

Tabla 2. Biometría (127) de los organismos de *D. maculatus* colectados en la desembocadura de la Laguna de Alvarado.

N:127	LT	PT	LI	PI	PB
Media	13.79	44.51	54.87	0.19	00.17
Mínimo	10.50	18.30	14.00	0.001	0.0005
Máximo	17.60	102.00	87.00	01.87	02.02

Longitud Total = LT (cm), Peso Total = PT (g), Longitud Intestino = LI (cm), Peso Intestino = PI (g) y Peso Branquias = PB (g).

En la tabla 2 se muestran los resultados de los 51 machos analizados, se presenta una talla total media de 13.81cm y peso total medio de 45.52 g, se muestra un máximo de talla con 17.30 cm y mínimo de 10.50 cm, el valor más alto para peso total fue de 88.20 g y un peso menor de 18.30 g, la longitud del intestino tiene un valor medio de 54.93 cm con un máximo de 76 cm y mínimo de 14 cm, el valor medio para el peso del intestino es de 0.46 g, con un valor máximo de 1.87 g y un mínimo de 0.001 g, por último, el peso de las branquias presenta un valor medio de 0.41 g con un valor máximo de 2.02 g y un mínimo de 0.002 g.

De las 76 hembras (Tabla 3) analizadas se presenta una talla total media de 13.78 cm y peso total medio de 43.84 g, se muestra un máximo de talla con 17.60 cm y mínimo de 11.30 cm, el valor más alto para peso total fue de 102 g y un peso menor de 24.60 g, la longitud del intestino tiene un valor medio de 54.83 cm con un máximo de 87 cm y mínimo de 20 cm, el valor medio para el peso del intestino es de 0.002 g, con un valor máximo de 0.005 g y un mínimo de 0.001 g, por último, el peso de las branquias presentó un valor medio de 0.002 g con un valor máximo de 0.005 g y un mínimo de 0.001 g.

Tabla 3. Biometría de machos de *Dormitator maculatus* colectados en la desembocadura de la Laguna de Alvarado; Veracruz.

Machos	LT	PT	LI	PI	PB
Media	13.81	45.52	54.93	0.46	0.41
Mínimo	10.50	18.30	14.00	0.001	0.002
Máximo	17.30	88.20	76.00	1.870	2.020

Longitud Total = LT (cm), Peso Total = PT (g), Longitud Intestino = LI (cm), Peso Intestino = PI (g) y Peso Branquias = PB (g).

Tabla 4. Biometría de hembras de *Dorminator maculatus* colectados en la desembocadura de la Laguna de Alvarado, Veracruz.

Hembras	LT	PT	LI	PI	PB
Media	13.8	43.8	54.8	0.002	0.002
Mínimo	11.3	24.6	20.0	0.001	0.001
Máximo	17.6	102.0	87.0	0.005	0.005

Longitud Total = LT (cm), Peso Total = PT (g), Longitud Intestino = LI (cm), Peso Intestino = PI (g) y Peso Branquias = PB (g).

10.2 Microplásticos en *D. maculatus*

De los 127 peces analizados en este estudio, el 100% de los peces mostraron presencia de partículas plásticas (Figura 8). Tal como se muestra en la tabla 4 se encontraron un total de 1134 microplásticos de los cuales, 561 microplásticos fueron en intestinos y 573 en branquias. Las formas de microplásticos totales presentes fueron 1106 fibras, 10 pellet, 13 film y 5 fragmentos sin encontrar formas irregulares, de los cuales en intestinos son 545 fibras, 9 pellet, 5 film y 2 fragmentos, en branquias las formas presentes son 561 fibras, 1 pellet, 8 film y 3 fragmentos (Figura 9).

Tabla 5. Clasificación de microplásticos por forma y porcentaje en intestino, branquia y totales en *Dorminator maculatus*, en la Laguna de Alvarado, Ver.

Formas	Intestino	Branquias	Total	%
Fibra	545	561	1106	97.53
Pellet	9	1	10	00.88
Film	5	8	13	01.15
Fragmento	2	3	5	00.44
Irregular	0	0	0	00.00
Total	561	573	1134	100.0

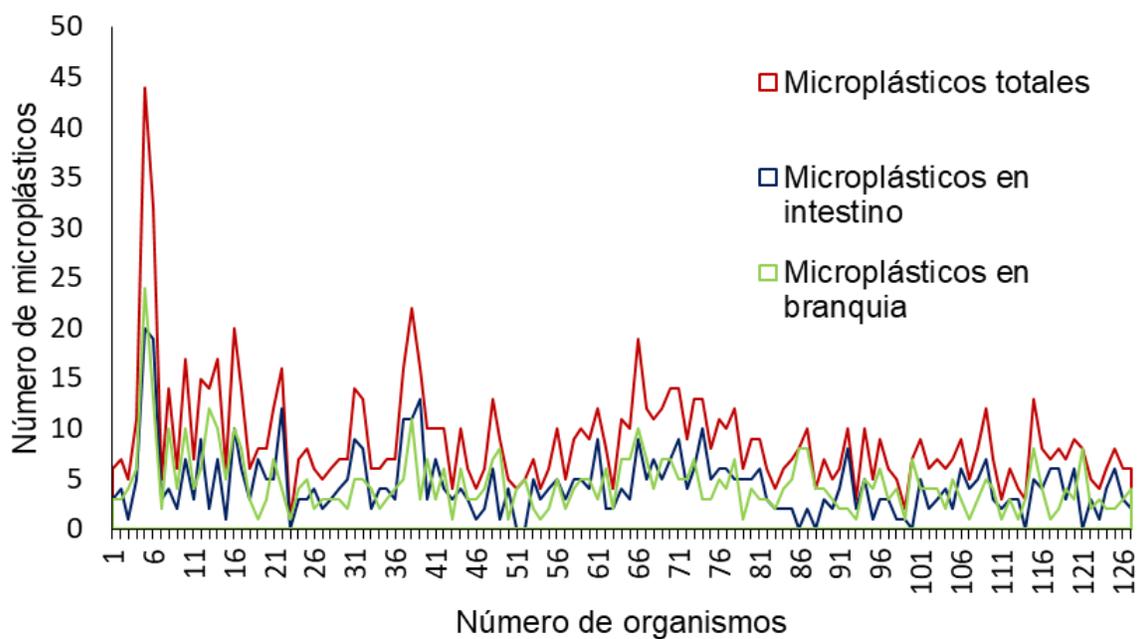


Figura 8. Abundancia de microplásticos en intestinos y branquias en *D. maculatus*, en la Laguna de Alvarado, Veracruz.

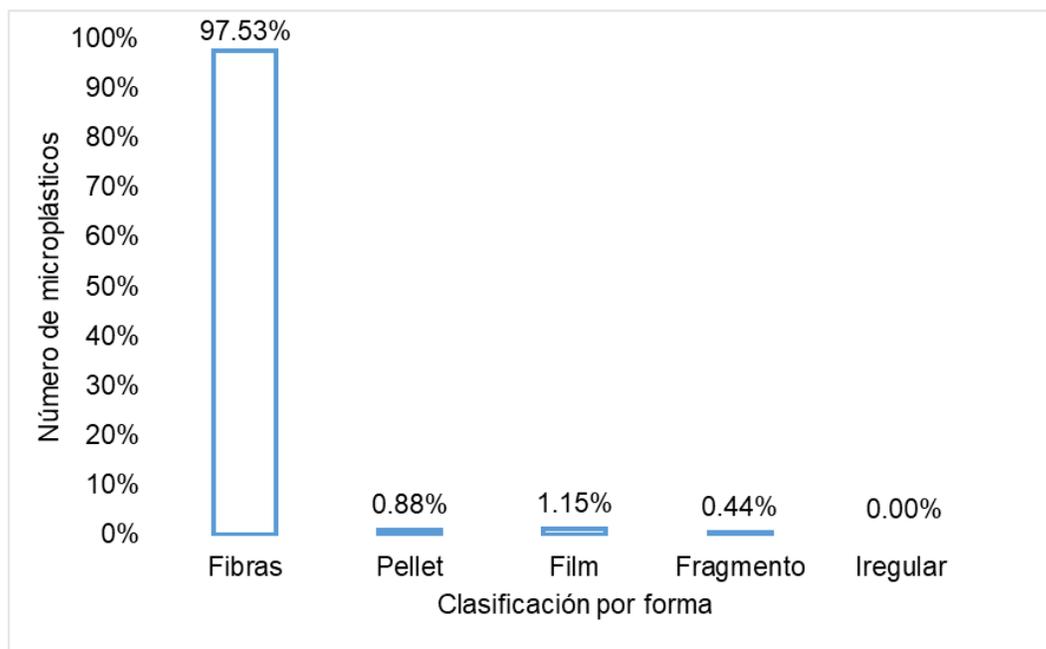


Figura 9. Porcentaje de abundancia de formas de microplásticos, presentes en intestinos y branquias de *Dormitator maculatus* en la Laguna de Alvarado, Ver.

Respecto a la clasificación por colores de los microplásticos, se encontraron 704 azules, 200 negros, 53 rojos, 9 verdes, 141 transparentes, 17 amarillos y 10 blancos. En intestinos: 353 azules, 111 negros, 28 rojos, 3 verdes, 51 transparentes, 9 amarillos y 6 blancos. En branquias: 351 azules, 89 negros, 25 rojos, 6 verdes, 90 transparentes, 8 amarillos y 4 blancos, tal como se muestra en la tabla 6 y figura 10.

Tabla 6. Clasificación de microplásticos por color en intestino, branquia y totales, de *Dormitator maculatus* en la Laguna de Alvarado, Ver.

Color	Intestino	Branquia	Total	%
Azul	353	351	704	62.08
Negro	111	89	200	17.64
Rojo	28	25	53	04.67
Verde	3	6	9	00.79
Transparente	51	90	141	12.43
Amarrillo	9	8	17	01.50
Blanco	6	4	10	00.88
Total	561	573	1134	100.0

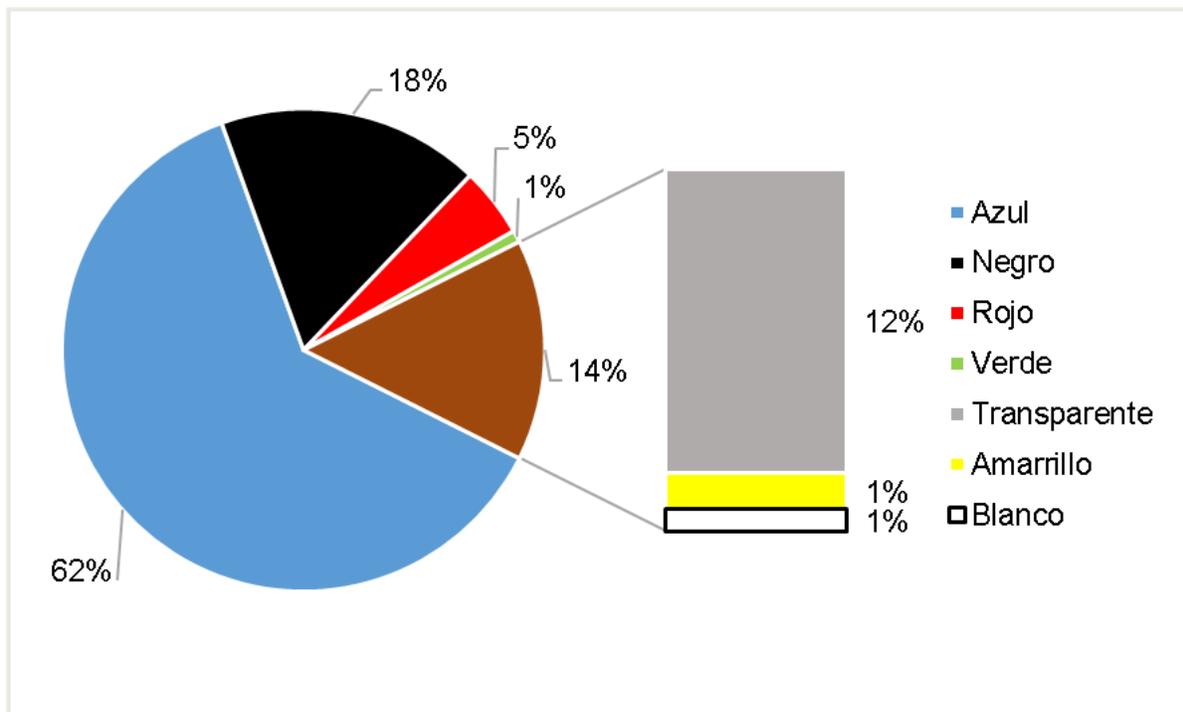


Figura 10. Porcentaje de microplásticos clasificados por colores presentes en intestinos y branquias de *Dorminator maculatus* en la Laguna de Alvarado, Ver.

En la tabla 7 y figuras 11 y 12 se muestran las categorías por tamaños y colores, de los cuales fueron clasificados los microplásticos (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 y 5.0 mm), de los cuales se encontraron 59 microplásticos de 0.5 mm, 432 de 1.0 mm, 36 de 1.5 mm, 322 de 2.0 mm, 15 de 2.5 mm, 158 de 3.0 mm, 2 de 3.5 mm, 68 de 4.0 mm, 2 de 4.5 mm y 40 de 5.0 mm. Los microplásticos en intestinos fueron 35 de 0.5 mm, 227 de 1.0 mm, 16 de 1.5 mm, 151 de 2.0 mm, 5.0 de 2.5 mm, 71 de 3.0 mm, 1 de 3.5 mm, 32 de 4.0 mm, 1 de 4.5 mm y 22 de 5.0 mm. En branquias los microplásticos encontrados fueron: 24 de 0.5 mm, 205 de 1.0 mm, 20 de 1.5 mm, 171 de 2.0 mm, 10 de 2.5 mm, 87 de 3.0 mm, 1 de 3.5 mm, 36 de 4.0 mm, 1 de 4.5 mm y 18 de 5.0 mm.

Tabla 7. Clasificación de microplásticos por tamaño en intestino, branquia, total y porcentaje en *Dormitator maculatus* en la Laguna de Alvarado, Ver.

Tamaño (mm)	Intestino	Branquias	Total	%
0.5	35	24	59	5.20
1.0	227	205	432	38.10
1.5	16	20	36	3.17
2.0	151	171	322	28.40
2.5	5	10	15	1.32
3.0	71	87	158	13.93
3.5	1	1	2	0.18
4.0	32	36	68	6.00
4.5	1	1	2	0.18
5.0	22	18	40	3.53
Total	561	573	1134	100.0

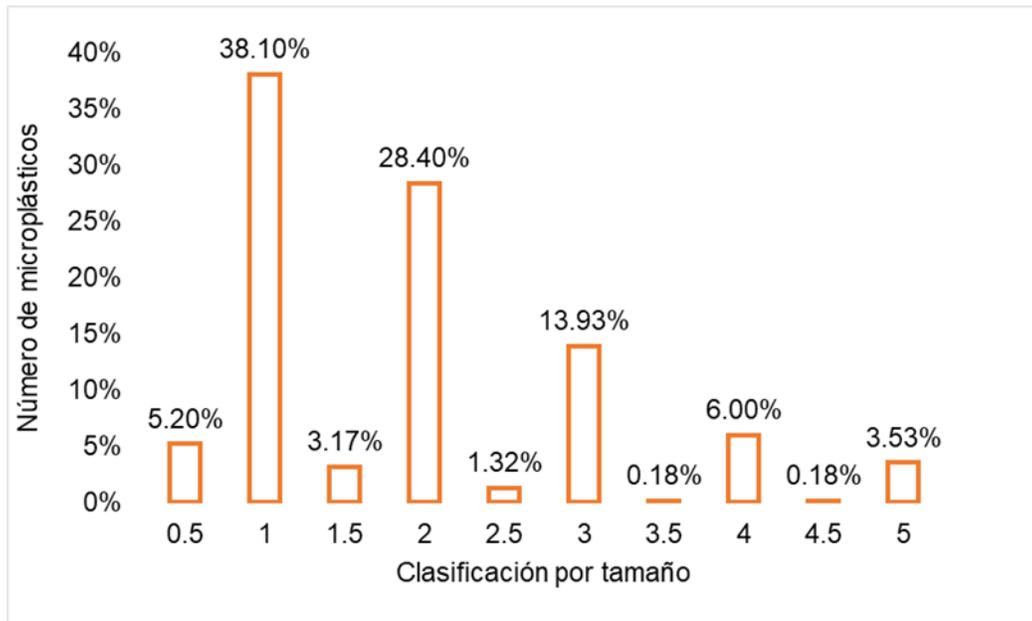


Figura 11. Porcentaje de abundancia de tamaños de microplásticos, presentes en intestinos y branquias, en *Dormitator maculatus* en la Laguna de Alvarado, Ver.

Figura 12.

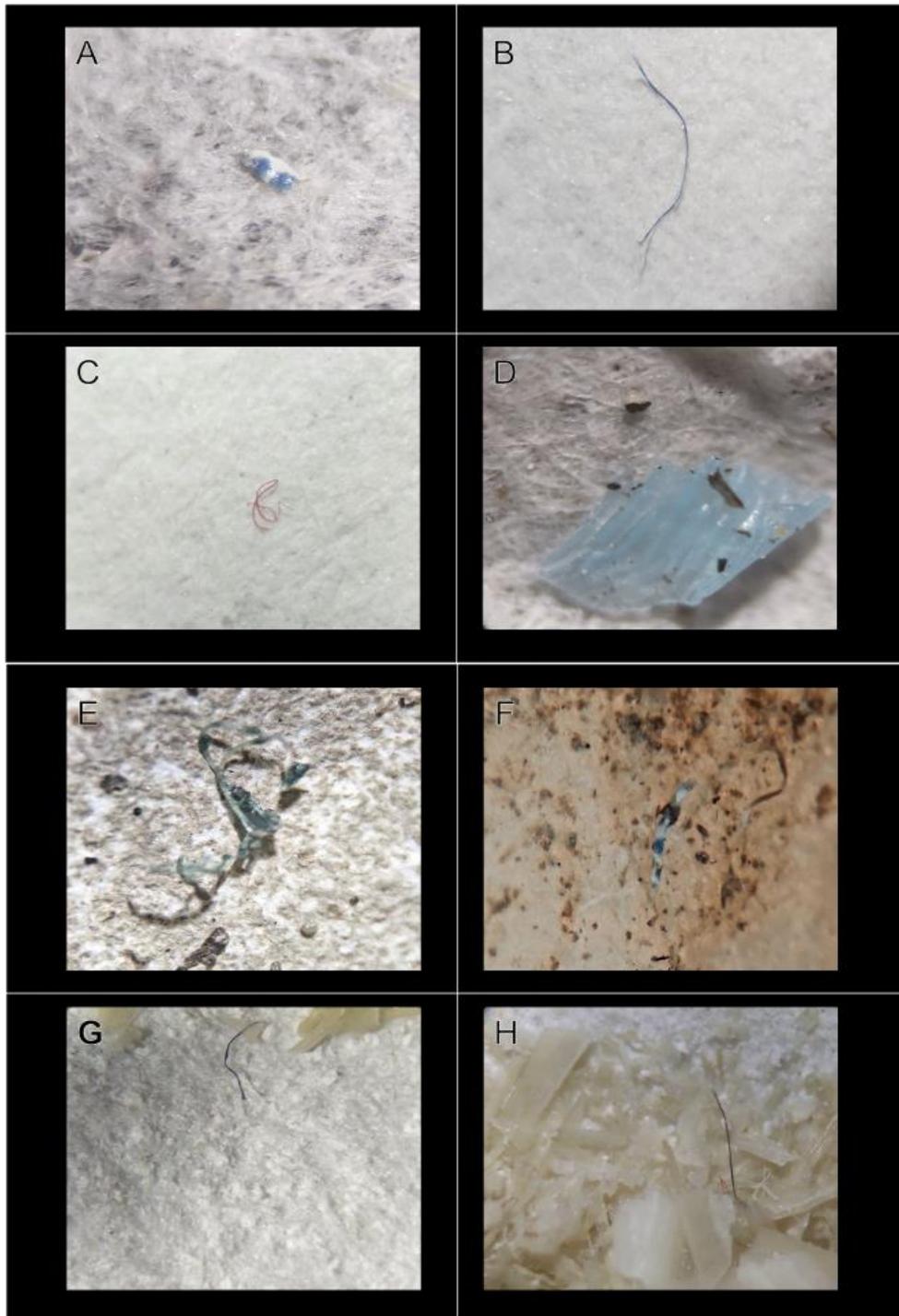


Figura 13. Microplásticos en *Dormitator maculatus* clasificados por color y tamaño. A) Film blanco 1.5 mm. B) Fibra azul 2.0 mm. C) Fibra rojo 2.0 mm. D) Fragmento azul 2.0 mm. E) Fibra azul 4.0 mm. F) Film blanco 2.0 mm. G) Fibra azul 1.0 mm. H) Fibra azul 3.0 mm y fibra rojo 1.0 mm.

10.3 Microplásticos por sexo

En machos la presencia de microplásticos es del 100%, se encontraron un total de 520 microplásticos de los cuales, 250 microplásticos fueron en intestinos y 270 en branquias en cuanto a las formas de los microplásticos fueron 510 fibras, 5 pellet, 3 film, 2 fragmentos, sin encontrar formas irregulares, los colores encontrados son 305 azules, 85 negros, 32 rojos, 6 verdes, 77 transparentes, 12 amarillos y 3 blancos en branquias, por último respecto a los tamaños encontrados en machos son 29 microplásticos de 0.5 mm, 194 de 1.0 mm, 22 de 1.5 mm, 138 de 2.0 mm, 8 de 2.5 mm, 85 de 3.0 mm, 1 de 3.5 mm, 26 de 4.0 mm, 1 de 4.5 mm y 16 de 5.0 mm.

Para las hembras la presencia de microplásticos fue 100% de las muestras, al igual que los machos. Se encontraron un total de 614 microplásticos de los cuales, 331 microplásticos fueron en intestinos y 303 en branquias, las formas de microplásticos son 596 fibras, 5 pellet, 10 film y 3 fragmentos sin encontrar formas irregulares, respecto a los colores se encontraron 399 azules, 115 negros, 21 rojos, 3 verdes, 64 transparentes, 5 amarillos y 7 blancos, los tamaños de los microplásticos totales encontrados para las hembras son 30 microplásticos de 0.5 mm, 238 de 1.0 mm, 13 de 1.5 mm, 184 de 2.0 mm, 6 de 2.5 mm, 73 de 3.0 mm, 1 de 3.5 mm, 42 de 4.0 mm, 1 de 4.5 mm y 24 de 5.0 mm.

10.4 Microplásticos en sedimentos

De los puntos de muestreo denominados como A, B y C, se encontraron 487 microplásticos en total por los tres sitios de muestreo (Tabla 8):

- Sitio A, se obtuvieron 243 de los cuales 60 microplásticos corresponden al tamiz con apertura con 2.5 mm, 42 para el tamiz de 1.1 mm, 96 para el tamiz de 0.90 mm y 45 para el tamiz de 0.63 mm.
- Sitio B, se obtuvo un total de 24 microplásticos de los cuales 8 microplásticos se encontraron en el tamiz con apertura 2.5 mm, 8 para el tamiz de 1.1 mm, 7 para el tamiz de 0.90 mm y 1 para el tamiz de 0.63 mm.
- Sitio C, se encontraron 220 microplásticos de los cuales 54 microplásticos se encontraron en el tamiz con apertura 2.5 mm, 78 para el tamiz de 1.1 mm, 64 para el tamiz de 0.90 mm y 24 para el tamiz de 0.63 mm.

Tabla 8. Microplásticos en sedimento por apertura de malla de tamiz en los sitios A, B y C del Río Acula, Veracruz.

Tamiz (mm)	A	B	C	Microplásticos por tamiz
1 (2.50)	60	8	54	122
2 (1.10)	42	8	78	128
3 (0.90)	96	7	64	167
4 (0.63)	45	1	24	70
Total	243	24	220	487

Como se muestra en la tabla 9 y figura 15, se obtuvo un total de 487 microplásticos, las formas presentes son: 464 fibras, 16 film, 5 fragmentos y un microplástico irregular. Respecto al sitio de muestreo A se encontraron 223 fibras, 15 film y 5 microplásticos con forma de fragmento, sin encontrar pellet o irregulares, en cuanto al sitio B únicamente se encontraron 23 fibras y un irregular, por último, en el sitio C se encontraron 218 fibras, 16 film, 6 fragmento y un irregular, sin encontrar pellet (Figura 14).

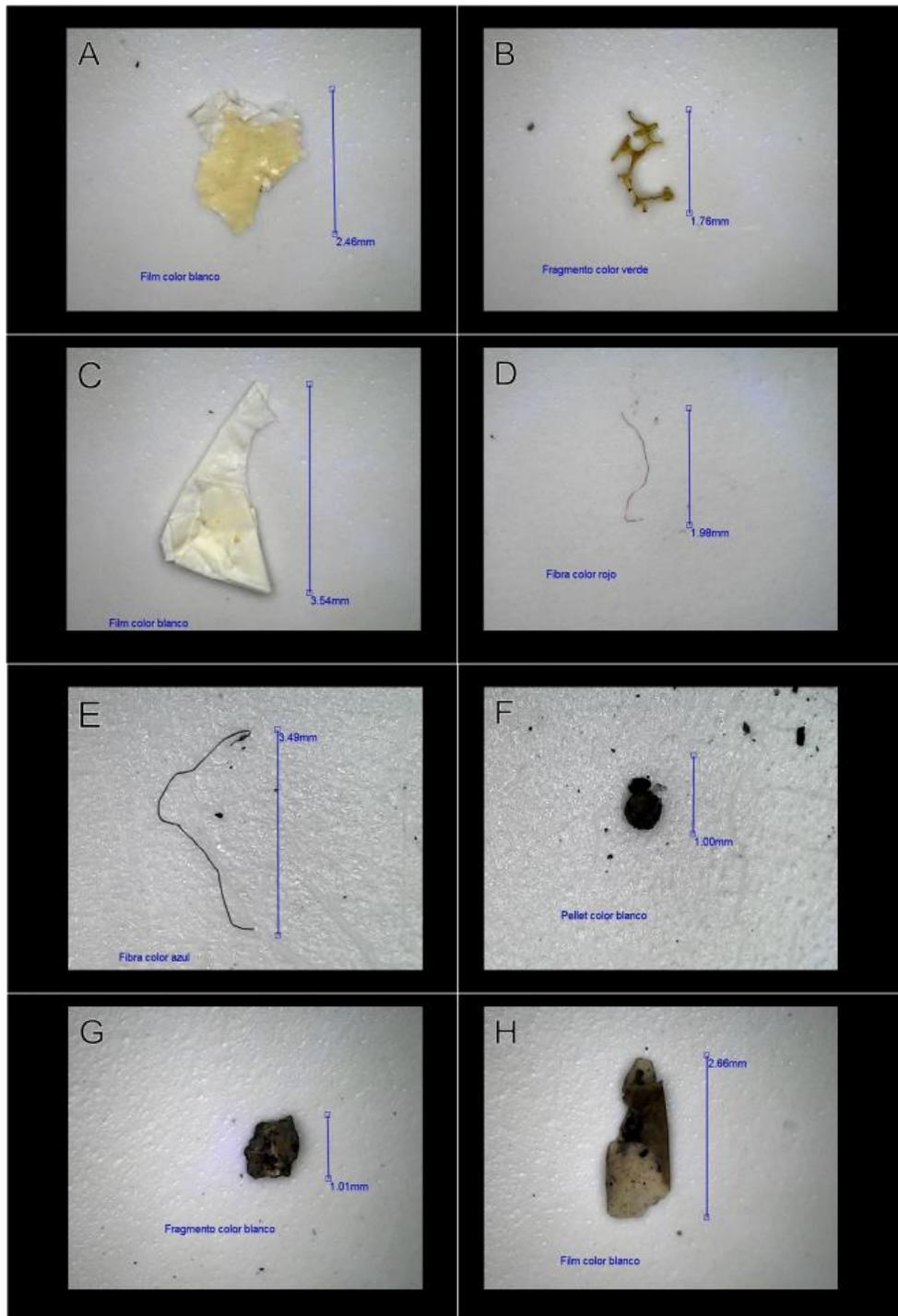


Figura 14. Microplásticos en sedimentos del río Acula, Veracruz. A) Film blanco 2.46 mm. B) Fragmento verde 1.76 mm. C) Film blanco 3.54 mm. D) Fibra rojo 1.96 mm. E) Fibra azul 3.49 mm. F) Pellet blanco 1 mm. G) Fragmento blanco 1.02 mm. H) Film blanco 2.68 mm.

Tabla 9. Clasificación de microplásticos por forma en sedimento de los sitios A, B, C y totales en Río Acula; Ver.

Formas	A	B	C	Total	%
Fibra	223	23	218	464	95.28
Pellet	0	0	0	0	0.00
Film	15	0	1	16	3.29
Fragmento	5	0	1	6	1.23
Irregular	0	1	0	1	0.21
	243	24	220	487	100.0

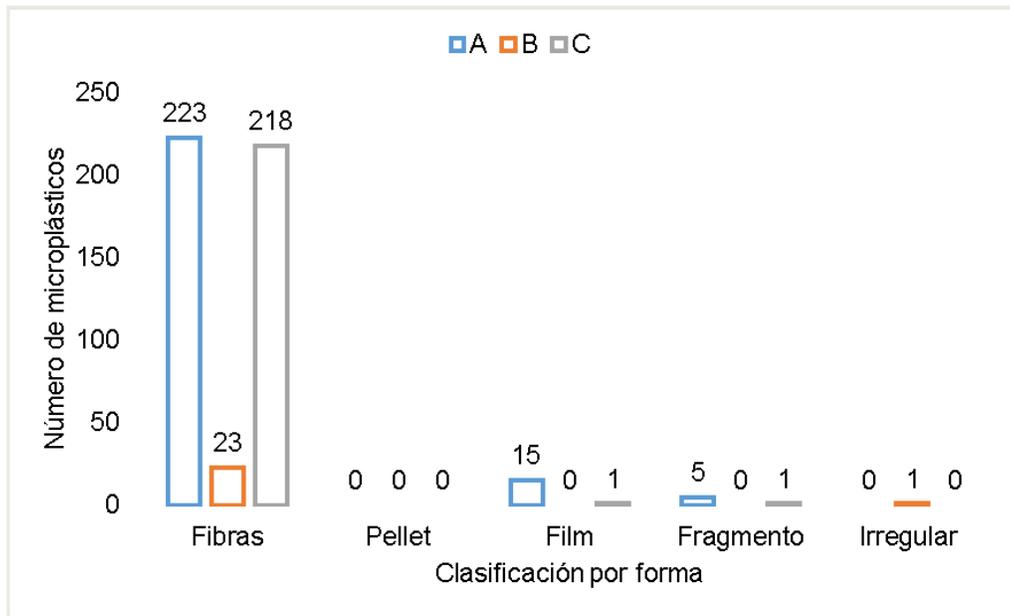


Figura 15. Clasificación de microplásticos por formas en sedimento en los sitios A, B y C del río Acula, Ver.

Como se puede apreciar en la tabla 9 de los 487 microplásticos totales se encontraron 50 azul, 15 negros, 7 rojos, 33 verde, 74 transparentes, 19 amarillos y 289 blancos, distribuidos de la siguiente manera:

- En el sitio A: 16 azul, 4 negros, 2 rojos, 8 verde, 74 transparentes, 15 amarillos y 124 blancos. En el sitio B: 12 microplásticos azules, 4 negros, 3 rojos, 3 verde y 2 blancos sin encontrar transparentes o amarillos.

- En sitio C: 22 azules, 7 negros, 2 rojos, 22 verdes, 4 amarillos, 163 blancos sin encontrar microplásticos transparentes. Presentados gráficamente en la figura 16.

Tabla 10. Abundancia de microplásticos por color en sedimento de los sitios A, B, C y totales en Río Acula, Ver.

Color	A	B	C	Total	%
Azul	16	12	22	50	10.27
Negro	4	4	7	15	03.08
Rojo	2	3	2	7	01.44
Verde	8	3	22	33	06.78
Transparente	74	0	0	74	15.20
Amarrillo	15	0	4	19	03.90
Blanco	124	2	163	289	59.34
Total	243	24	220	487	100.0

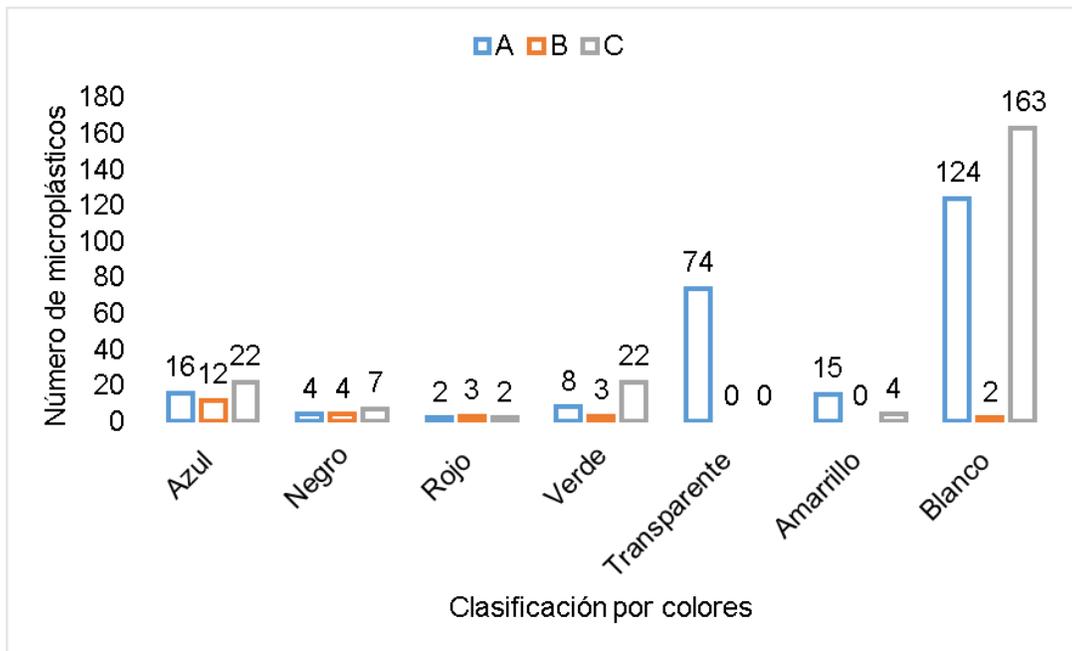


Figura 16. Abundancia de microplásticos por colores en sedimento en los sitios A, B y C de Río Acula, Ver.

Los tamaños de los microplásticos encontrados en sedimento se agruparon de la misma manera que los encontrados en *D. maculatus* (Tabla 11) de los cuales se encontraron: dos microplásticos de 0.5 mm, 185 de 1.0 mm, 11 de 1.5 mm, 140 de 2.0 mm, 1 de 2.5 mm, 64 de 3.0 mm, 43 de 4.0 mm y 41 de 5.0 mm, sin encontrar tamaños de 3.5 y 4.5. Como se puede observar en la figura 16 los tamaños correspondientes de los microplásticos los sitios son:

- Sitio A se encontraron 2 de 0.5 mm, 96 de 1.0 mm, 10 de 1.5 mm, 71 de 2.0 mm, 1 de 2.5 mm, 32 de 3.0 mm, 21 de 4.0 mm y 10 de 5.0 mm, sin encontrar tamaños de 3.5 y 4.5.
- Sitio B se encontraron 3 de 1.0 mm, 6 de 2.0 mm, 2 de 3.0 mm, 3 de 4.0 mm y 10 de 5.0 mm, sin encontrar tamaños de 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 y 4.5.
- Sitio C se encontraron 86 de 1.0 mm, 1 de 1.5 mm, 63 de 2.0 mm, 30 de 3.0 mm, 19 de 4.0 mm y 21 de 5.0 mm, sin encontrar tamaños de 0.5, 2.5, 3.5 y 4.5.

Tabla 11. Abundancia y clasificación por tamaño de microplásticos en sedimento en los sitios A, B, C y totales; en el río Acula, Ver.

Tamaño (mm)	A	B	C	Total	%
0.5	2	0	0	2	0.41
1.0	96	3	86	185	37.99
1.5	10	0	1	11	2.26
2.0	71	6	63	140	28.75
2.5	1	0	0	1	0.21
3.0	32	2	30	64	13.14
3.5	0	0	0	0	0.00
4.0	21	3	19	43	8.83
4.5	0	0	0	0	0.00
5.0	10	10	21	41	8.42
Suma total	243	24	220	487	100.0

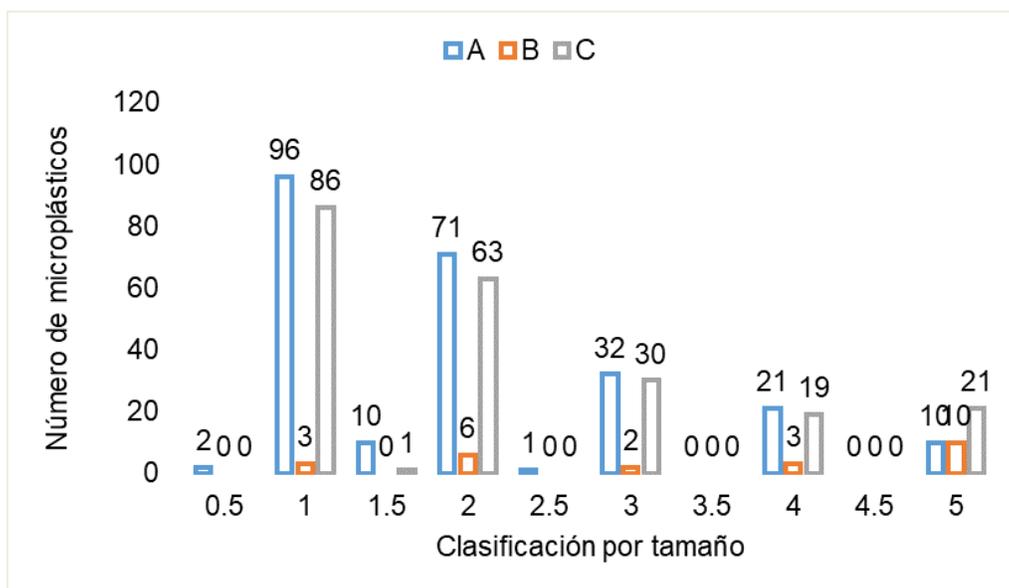


Figura 17. Tamaño de microplásticos en sedimento en los sitios A, B y C del río Acula. Ver.

11 ANÁLISIS DE DATOS

11.1 Relación peso-talla

De acuerdo con la relación entre peso y longitud (Figura 18), se obtuvo un valor de $a = 0.022$ y un valor de $b = 2.8895$, estos son valores correspondientes a un crecimiento alométrico negativo (Froese, 2006), el crecimiento difiere al resultado reportado por Franco-López *et al.* (2021) quienes mencionan un crecimiento isométrico, sin embargo se coincide con un crecimiento alométrico reportado por Dávila-Camacho y Galaviz-Villa (2021), pese a la coincidencia en el tipo de crecimiento existe una discrepancia entre la alometría positiva o negativa, una de las posibles causas en las diferencia de los resultados podría ser los muestreos realizados para este estudio ya que únicamente se considera una temporada climática, además de un menor número de muestras estudiadas, sin embargo, debido a los objetivos de este estudio se ha decidido considerar la alometría, considerando que este crecimiento diferencial de las partes del cuerpo nos permitirá hacer comparaciones individuales entre el peso/talla y cantidad de microplásticos presentes en *D. maculatus*.

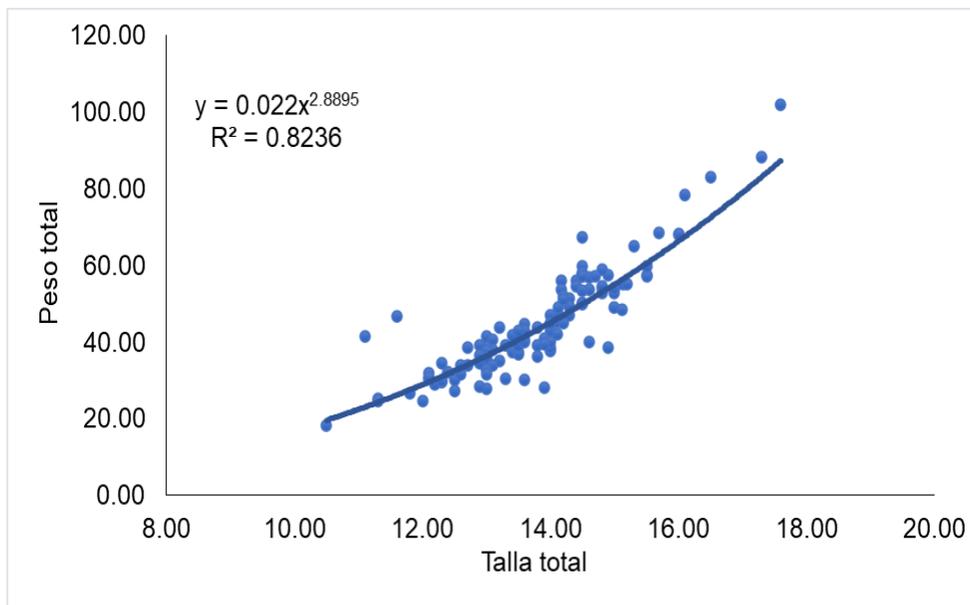


Figura 18. Relación entre Peso total vs Talla total de *Dormitator maculatus*.

11.2 Variación entre la cantidad de microplásticos entre machos y hembras

Se realizaron pruebas estadísticas para identificar las diferencias entre la cantidad de microplásticos totales, intestinos y branquias entre machos y hembras, para poder inferir si existe algún tipo de preferencia referente al sexo.

Se realizó una prueba de Mann-Whitney para comparar el número total de microplásticos presentes en machos y hembras, se obtuvieron los valores $U = 1620.500$ y $P = 0.117$. La diferencia de las medias entre los microplásticos presentes en machos y hembras (Figura 19) no es lo suficientemente grande como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0.117$).

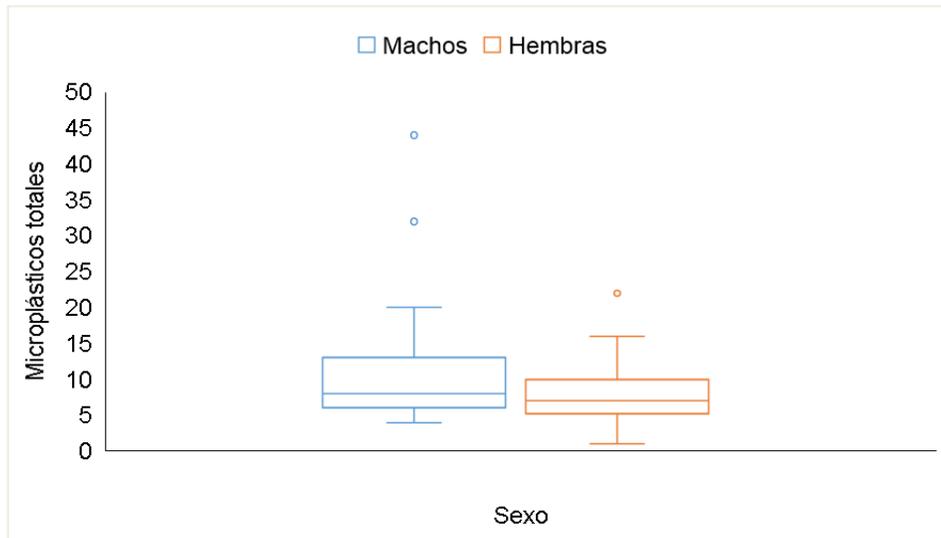


Figura 19. Microplásticos totales por sexo en *Dormitator maculatus* en la laguna de Alvarado, Ver.

Se realizó una prueba de Mann-Whitney comparando el número total de microplásticos presentes en intestinos en machos y hembras, la cual nos dio un valor de $U = 1748.000$ y $P = 0.347$. La diferencia de las medias entre los microplásticos en intestinos presentes en machos y hembras (Figura 20) no es lo suficientemente grande como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; por lo tanto, no existe una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0.347$).



Figura 20. Microplásticos en intestino por sexo en *Dormitator maculatus*, en la Laguna de Alvarado, Ver.

Se realizó una prueba de Mann-Whitney comparando el número total de microplásticos presentes en branquias en machos y hembras, se obtuvieron los valores de $U = 1583.500$ y $P = 0.078$. La diferencia de las medias entre los microplásticos en branquias presentes en machos y hembras (Figura 21) no es lo suficientemente grande como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no hay una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0.078$).

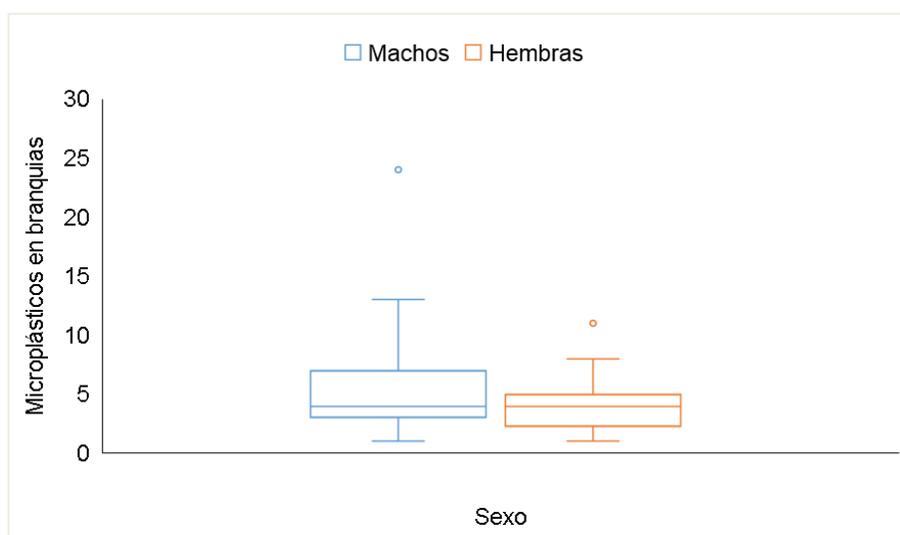


Figura 21. Microplásticos en branquias por sexo en *Dormitator maculatus*, en la Laguna de Alvarado, Ver.

Además de no se presentar ningún tipo de diferencia entre la cantidad, la forma o color de microplásticos presentes en macho y hembras tampoco presentan algún tipo de diferencia (Tabla 12).

Tabla 12. Diferencia de cantidad de microplásticos en *Dormitator maculatus* por sexo.

Microplásticos	Machos	Hembras
Total	520	614
Intestinos	250	311
Branquias	270	303
Forma predominante	Fibras (510)	Fibras (596)
Color predominante	Azul (305)	Azul (399)

11.3 Variación entre la cantidad de microplásticos en branquias e intestinos

Se realizó una prueba de Mann-Whitney comparando el número total de microplásticos en intestinos y en branquias, y se obtiene un valor de $U = 7809.500$ y un valor de $P = 0.661$, estos resultados nos indican que la diferencia de las medias entre los microplásticos presentes en intestinos y branquias (Figura 22) no es lo suficientemente grande como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio; no presenta una diferencia estadísticamente significativa ($P = 0.661$).

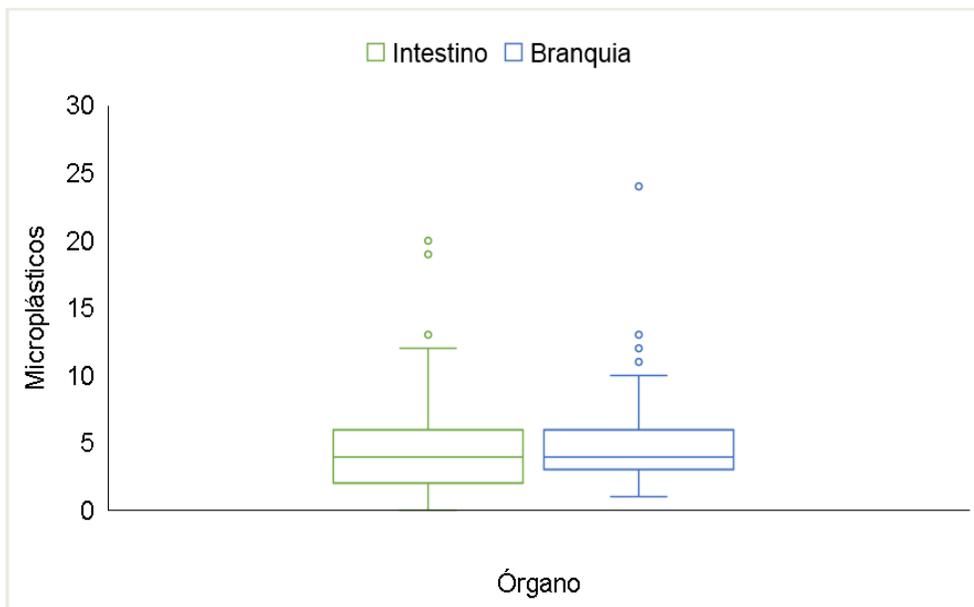


Figura 22. Variación entre la cantidad de microplásticos presentes en branquias e intestinos de *D. maculatus* de la Laguna de Alvarado, Ver.

11.1 Índice de condición de Fulton (K)

El índice K mostró que el 100% de los organismos se encuentran bajo la condición de “Gordos”, con un promedio de 1.66 como puede observar en la tabla 13.

Tabla 13. Clasificación Índice de condición de Fulton (K) de los organismos.

		K	%
Delgados	<1	0	0
Saludables	1	0	0
Gordos	>1	127	100
Total		127	100

11.2 Plenitud intestinal

La plenitud intestinal (Tabla 14) se dividió en sus tres categorías “lleno”, “medio lleno” y “vacío”, a los cuales se les asignaron los valores 1, 0.5 y 0.0 respectivamente.

Tabla 14. Clasificación de organismos *Dormitator maculatus* de acuerdo con la plenitud intestinal (vacío, medio lleno y lleno) y su cantidad de microplásticos.

Plenitud intestinal (PI)	Valor	Número de individuos	%	Microplásticos en intestinos
Vacío	0.0	41	24.41	173
Medio lleno	0.5	55	43.31	246
Lleno	1.0	31	32.28	142
Total		127	100.0	561

Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis (Figura 23) para identificar las diferencias entre los valores medianos de microplásticos presentes en intestinos de acuerdo a la clasificación de la plenitud intestinal, los resultados de la prueba nos demuestra que no hay diferencia estadísticamente significativa $H = 1.038$ con 2 grados de libertad ($P = 0.595$), entre los grupos de tratamiento no son lo suficientemente grandes como para excluir la posibilidad de que la diferencia se deba a la variabilidad del muestreo aleatorio.

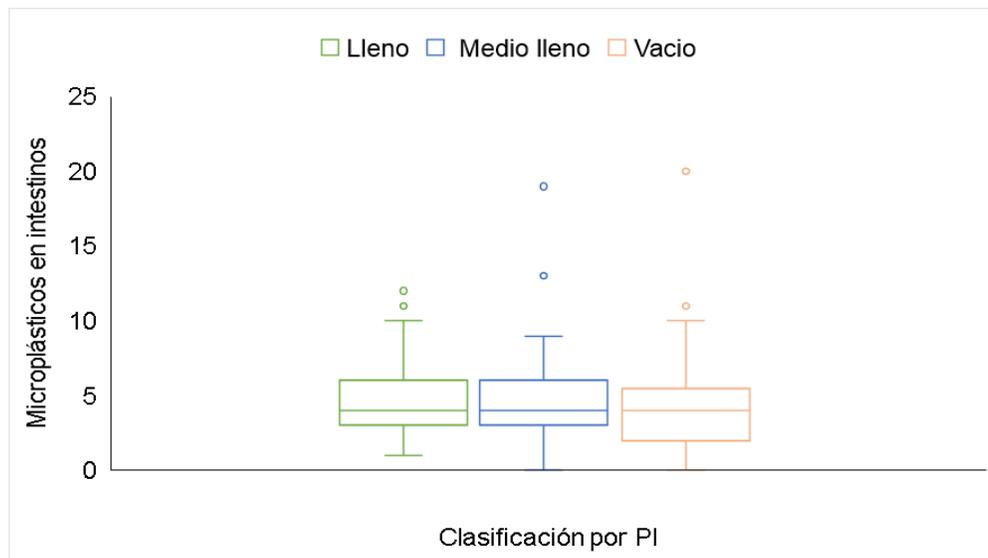


Figura 23. Microplásticos en intestino de acuerdo con la clasificación de plenitud intestinal en *D. maculatus*, en la Laguna de Alvarado, Ver.

Como se puede observar en la tabla 15 se realizaron diferentes análisis de correlación (correlación de Pearson) para establecer la relación entre la cantidad de microplásticos totales con el peso total, longitud total y *K*. Para estos análisis de correlación ninguno presentó correlación significativa, debido a que todos los valores de *P* fueron > 0.5 .

Para el peso total presenta un valor de $P = 0.437$ con un coeficiente de correlación de 0.069 (Figura 24), para la longitud total se presentó un valor de $P = 0.932$ y un coeficiente de correlación de 0.007 (Figura 25) y para *K* un valor de $P = 0.125$, con un coeficiente de correlación de 0.137 (Figura 26).

Tabla 15. Correlación de microplásticos totales vs longitud total, peso total y *K*.

Biometría	Valor P	Relación	Correlación de Pearson (r)
Longitud total	0.932	No significativa	0.007
Peso Total	0.437	No significativa	0.069
<i>K</i>	0.125	No significativa	0.137

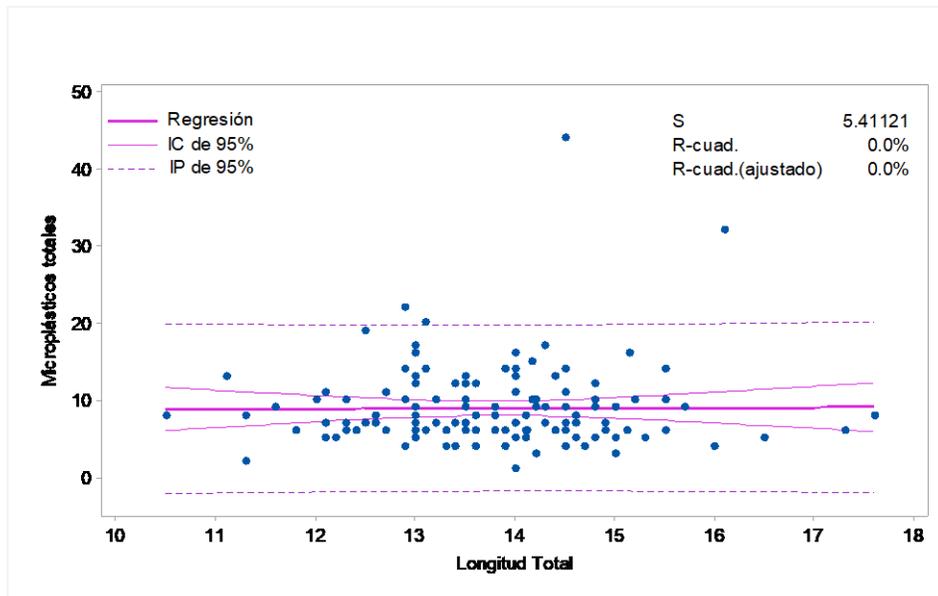


Figura 24. Regresión lineal de microplásticos totales vs longitud total, $S = 5.41121$, variación de R^2 de 0.01% y R^2 ajustada de 0.00%.

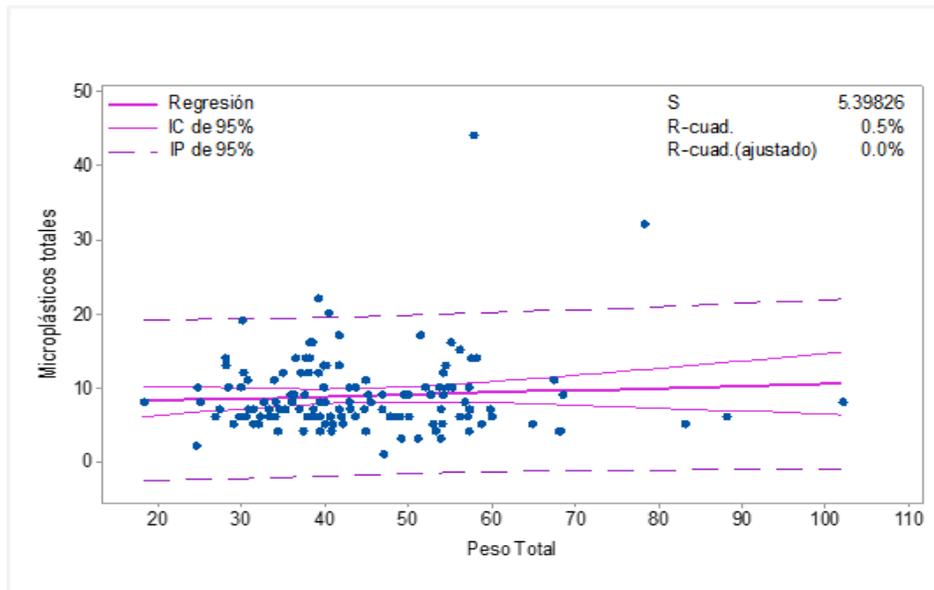


Figura 25. Regresión lineal de microplásticos totales vs peso total, $S = 5.39826$, variación de R^2 de 0.48% y R^2 ajustada de 0.00%.

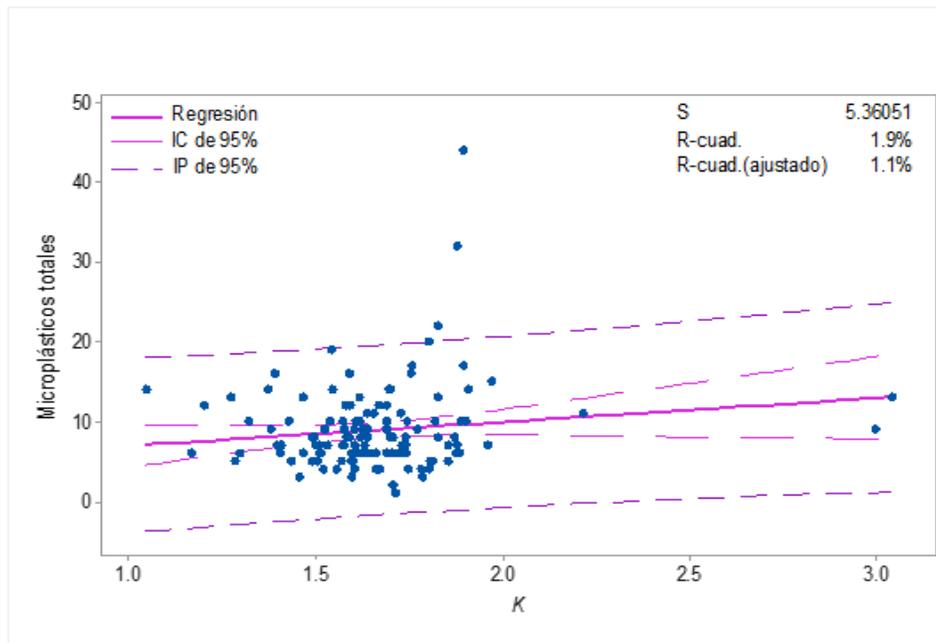


Figura 26. Regresión lineal de microplásticos totales vs K , $S = 5.36051$, R^2 de 1.87% y R^2 ajustada de 1.09%.

Además, como puede observar en la tabla 16, los análisis de correlación entre la cantidad de microplásticos en intestinos con la longitud total, peso total y K no presento correlación significativa, para la longitud total se presenta un valor de $P = 0.954$ con un coeficiente de correlación de 0.052 (Figura 26), para peso total un valor de $P = 0.623$ y un coeficiente de correlación de 0.044 (Figura 27) y K un valor de $P = 0.456$, con un coeficiente de correlación de 0.0668 (Figura 28).

Tabla 16. Correlación de microplásticos en intestinos vs talla total, peso total y K .

Biometría	Valor P	Relación	Correlación de Pearson (r)
Longitud total	0.954	No significativa	0.0052
Peso total	0.623	No significativa	0.0440
K	0.046	No significativa	0.0668

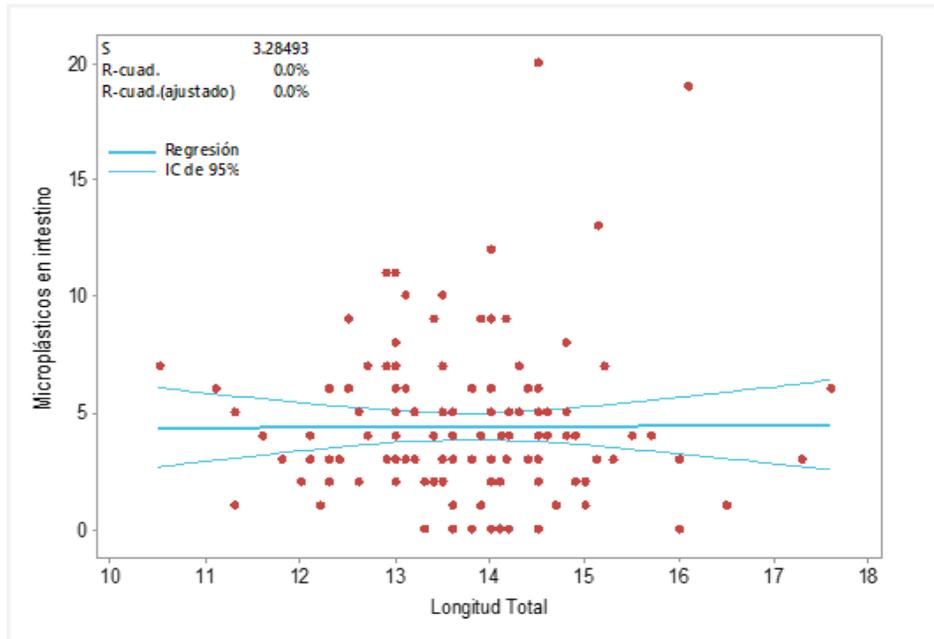


Figura 27. Regresión lineal de microplásticos en intestinos vs longitud total, $S = 3.284993$, R^2 de 0.0% y R^2 ajustada de 0.0%.

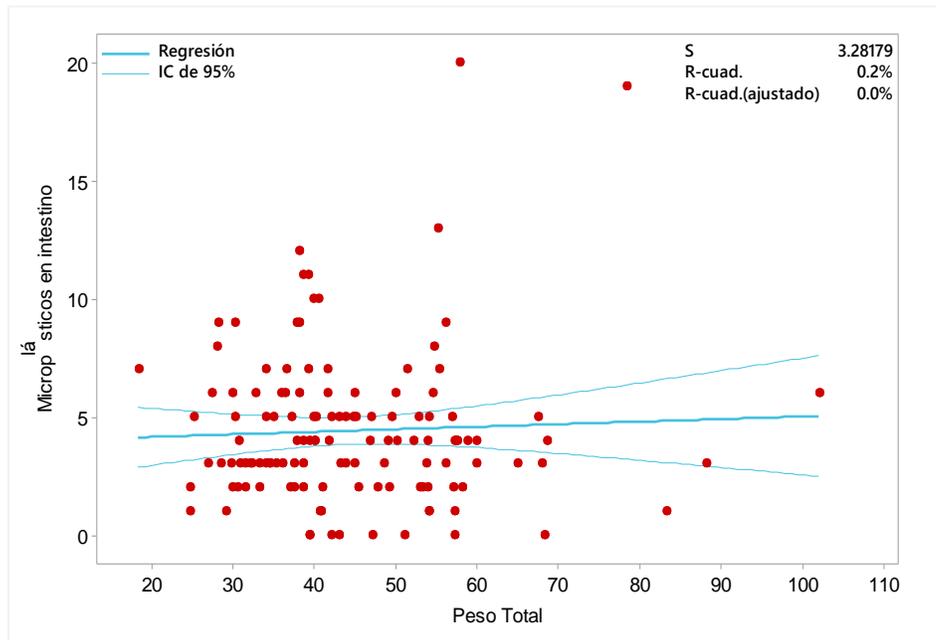


Figura 28. Regresión lineal de microplásticos en intestinos vs peso total, $S = 3.28179$, R^2 de 0.2% y R^2 ajustada de 0.0%.

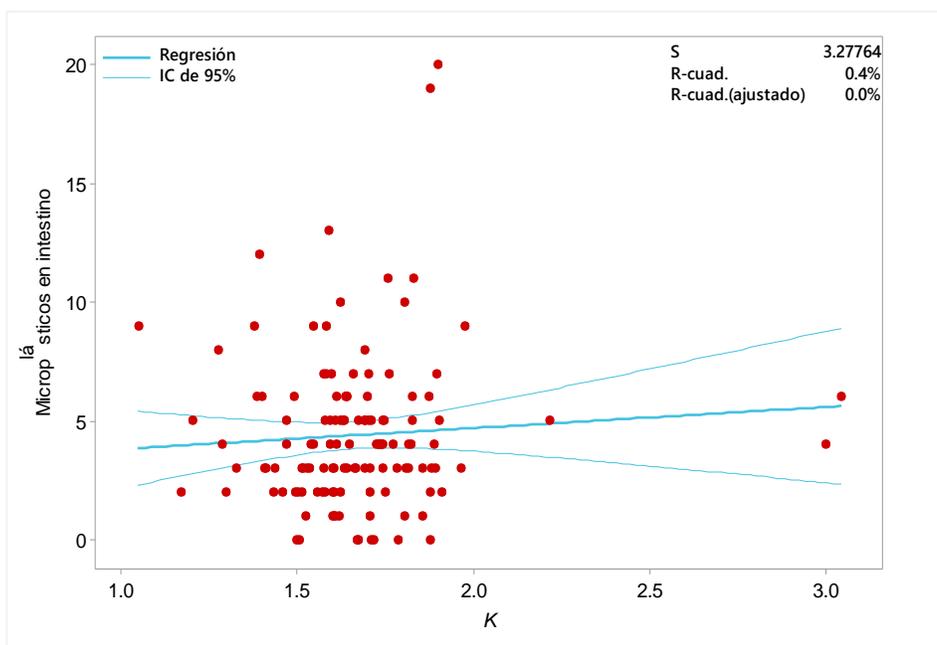


Figura 29. Regresión lineal de microplásticos en intestinos vs K , $S = 3.27764$, R^2 de 0.4% y R^2 ajustada de 0.0%.

En la tabla 17 se observan diferentes análisis de correlación entre la cantidad de microplásticos en branquias con la longitud total, peso total, y K . Para estos análisis de correlación ninguno presentó correlación significativa, ya que los valores de $P > 0.5$, el valor de P para la longitud total (Figura 29) presenta un valor de $P = 0.929$ con un coeficiente de correlación de 0.0080, para peso total (Figura 30) fue de un valor de $P = 0.398$ y un coeficiente de correlación de 0.0757 y K un valor de $P = 0.056$ (Figura 31), con un coeficiente de correlación de 0.170.

Tabla 17. Correlación de microplásticos en branquias vs talla total, peso total y K .

Biometría	Valor P	Relación	Correlación de Pearson (r)
Longitud total	0.929	No significativa	0.008
Peso total	0.398	No significativa	0.076
K	0.0561	No significativa	0.170

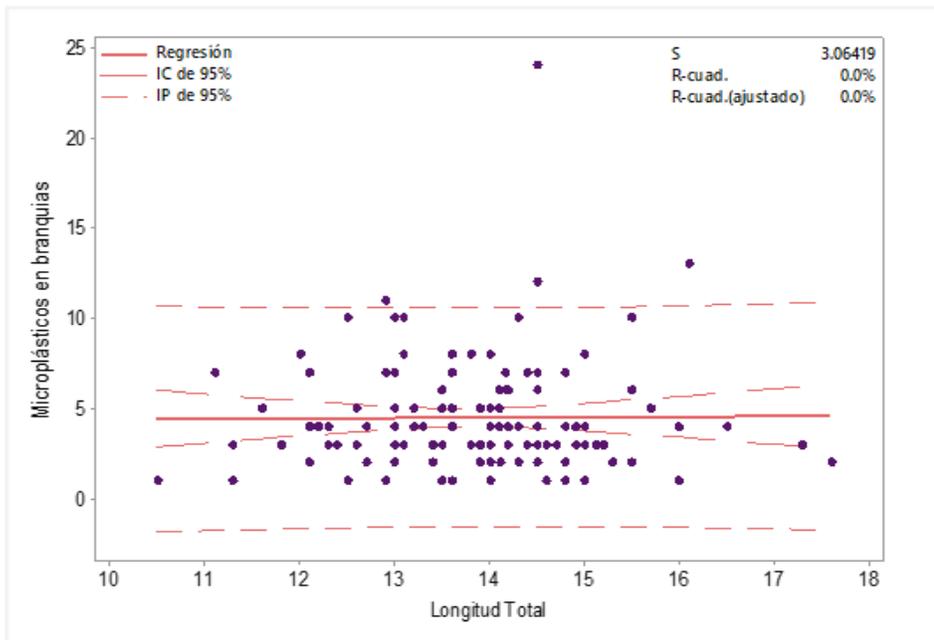


Figura 30. Regresión lineal de microplásticos branquia vs longitud total, $S = 3.06419$, R^2 de 0.0% y R^2 ajustada de 0.0%.

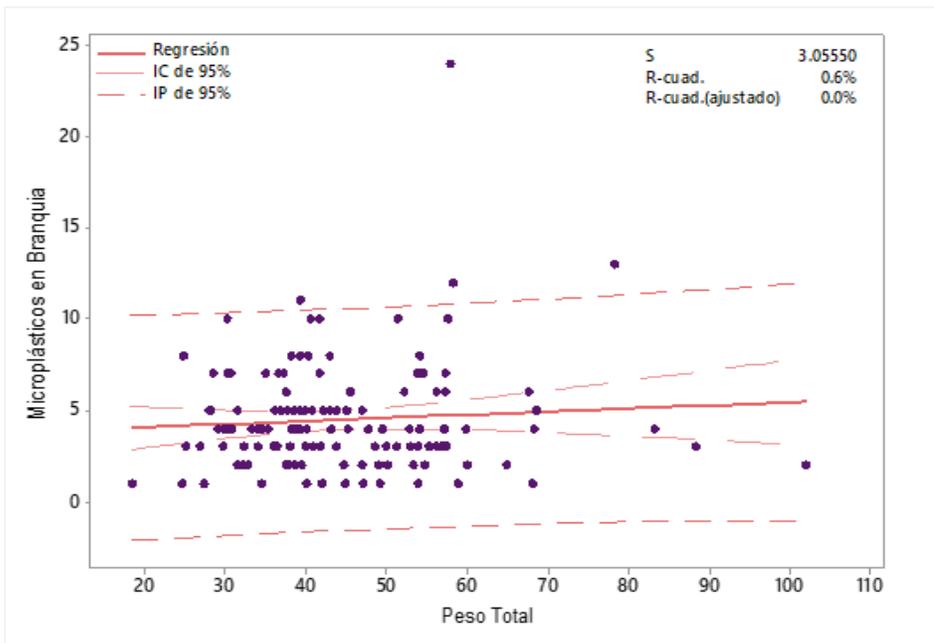


Figura 31. Regresión lineal de microplásticos branquia vs peso total, $S = 3.05550$, R^2 de 0.6% y R^2 ajustada de 0.0%.

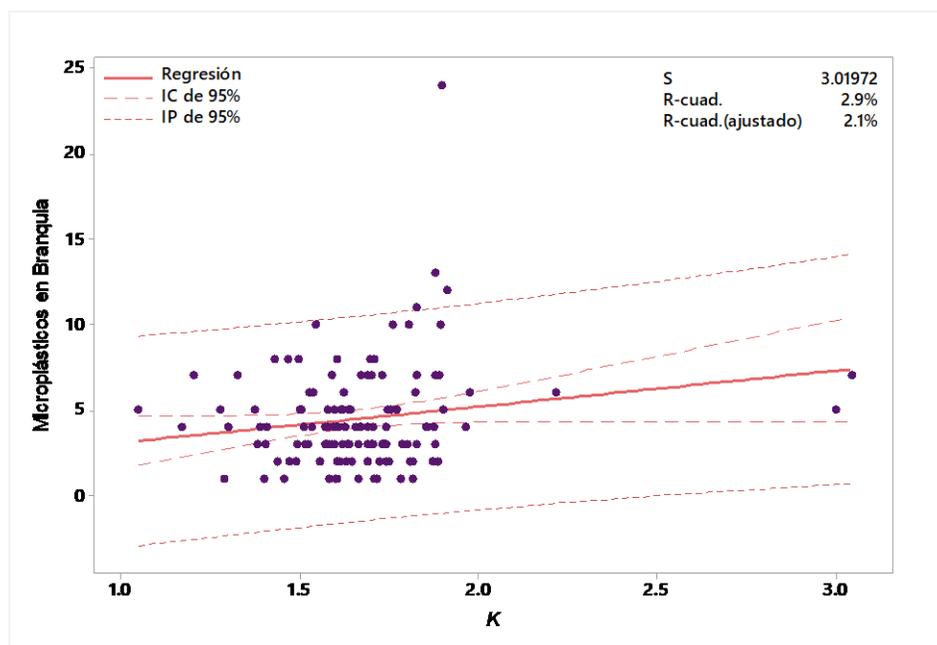


Figura 32. Regresión lineal de microplásticos branquia vs K , $S = 3.01972$, R^2 de 2.9 % y R^2 ajustada de 2.1%.

Se realizaron diferentes análisis de correlación para establecer en un modelo lineal, la relación entre la cantidad de microplásticos en intestinos con la longitud intestinal y peso del intestino (Tabla 18). Para estos análisis de correlación se presentó una correlación no significativa entre los microplásticos en intestinos y la longitud intestinal (Figura 33) con un valor de $P = 0.288$ y un coeficiente de correlación de 0.095, respecto al análisis de correlación entre los microplásticos en intestinos y el peso del intestino (Figura 34) se presentó una correlación significativa con un valor de $P = 0.0222$ y un coeficiente de correlación de 0.203.

Tabla 18. Correlación de microplásticos en intestinos vs longitud intestinal y peso del intestino.

Biometría	Valor P	Relación	Correlación de Pearson (r)
Longitud del intestino	0.288	No significativa	0.095
Peso intestino	0.0222	Significativa	0.203

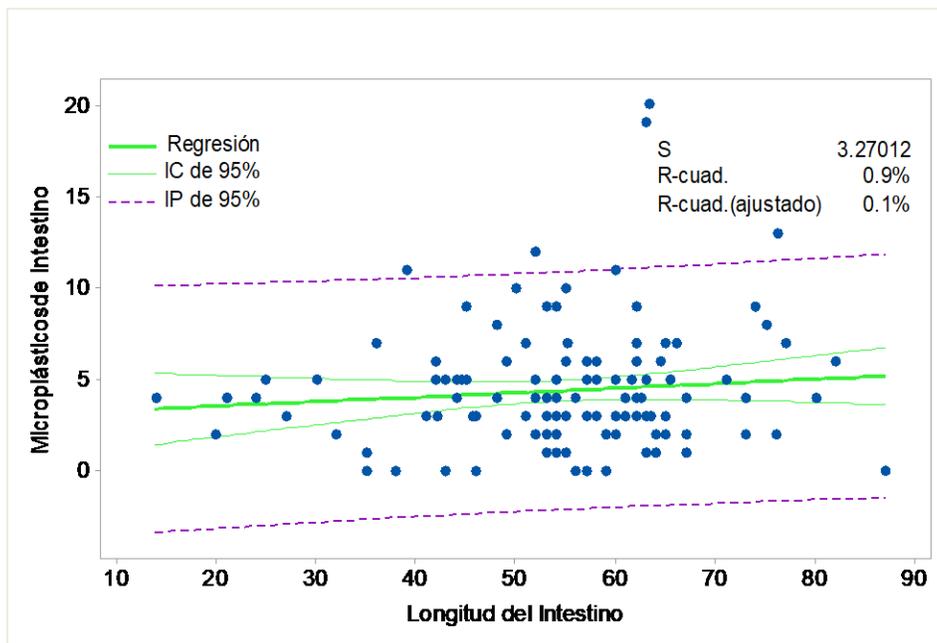


Figura 33. Regresión lineal de microplásticos de intestino vs longitud del intestino, S = 3.27012, R² de 0.90 % y R² ajustada de 0.11%.

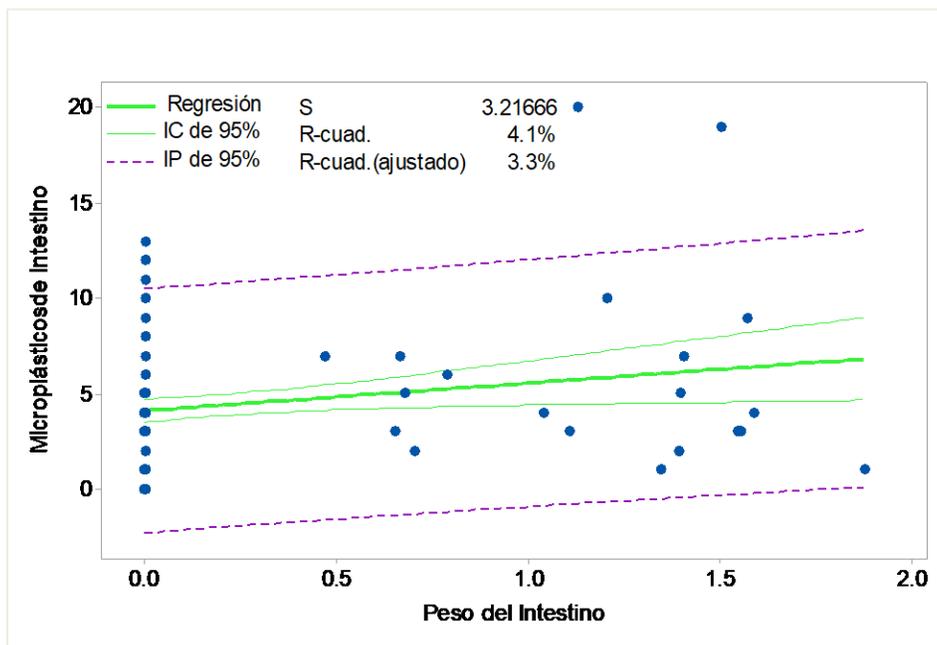


Figura 34. Regresión lineal de microplásticos de intestino vs peso del intestino, S = 3.21666, R² de 4.12 % y R² ajustada de 3.35%.

También se realizó un análisis de correlación para establecer en un modelo lineal entre la cantidad de microplásticos en branquias y peso de branquias (Tabla 19) de la cual se presentó una correlación significativa con un valor de $P = 0.398$ y un coeficiente de correlación de 0.00000362 (Figura 35).

Tabla 19. Correlación de microplásticos en branquias vs peso de branquias.

Biometría	Valor P	Relación	Correlación de Pearson (r)
Peso de branquias	0.00000362	Significativa	0.398

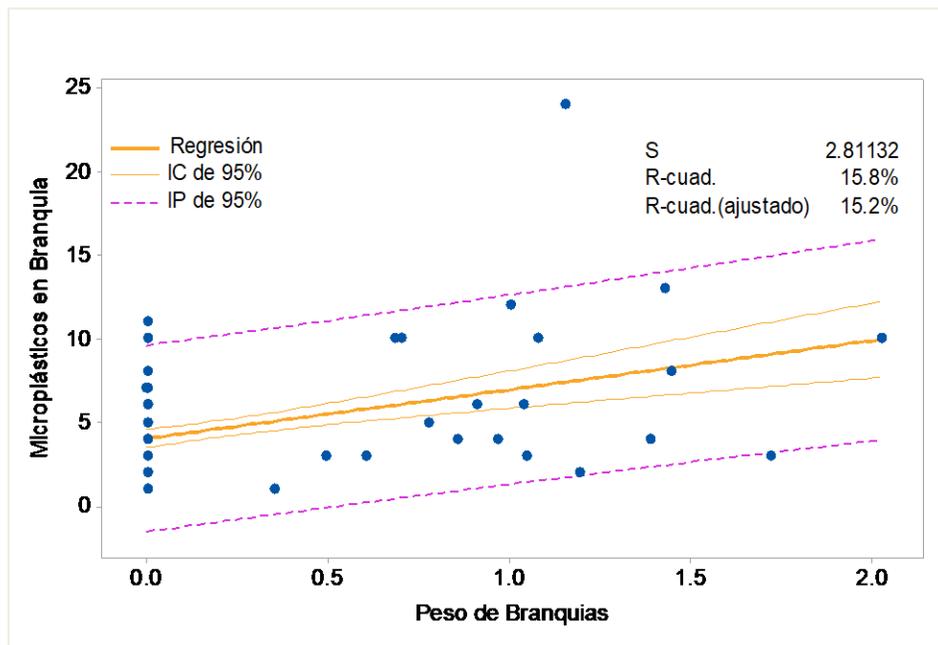


Figura 35. Regresión lineal de microplásticos en branquia vs peso de branquias, $S = 2.81132$, R^2 de 15.83 % y R^2 ajustada de 15.16%.

11.3 Análisis de microplásticos en sedimento

El análisis del sedimento del Río Acula muestra que existe una predominancia de fibras plásticas con un 95.28%, seguido de un 3.29% de films y un 1.23% de fragmentos, resultados similares a los obtenidos con *D. maculatus*, organismo elegido como bioindicador. Se realizó una prueba de ANOVA con un $\alpha = 0.05$ para identificar las diferencias entre los valores de las medias de microplásticos presentes en los diferentes puntos de muestreo A, B y C encontrados en los diferentes tamices, de igual manera se aplicó el método de Tukey con el fin de comparar los resultados obtenidos. El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre las medias de los valores (Figuras 36 y 37) de microplásticos encontrados en los sitios A, B y C ($P = 0.006$). El análisis de Tukey muestra las diferencias entre la cantidad de microplásticos encontrados en el sitio A y C con respecto al sitio B, con un valor $P = 0.009$ para los sitios A vs B y un valor de $P = 0.016$ para B y C, sin diferencias significativas entre el sitio A y C ($P = 0.910$).

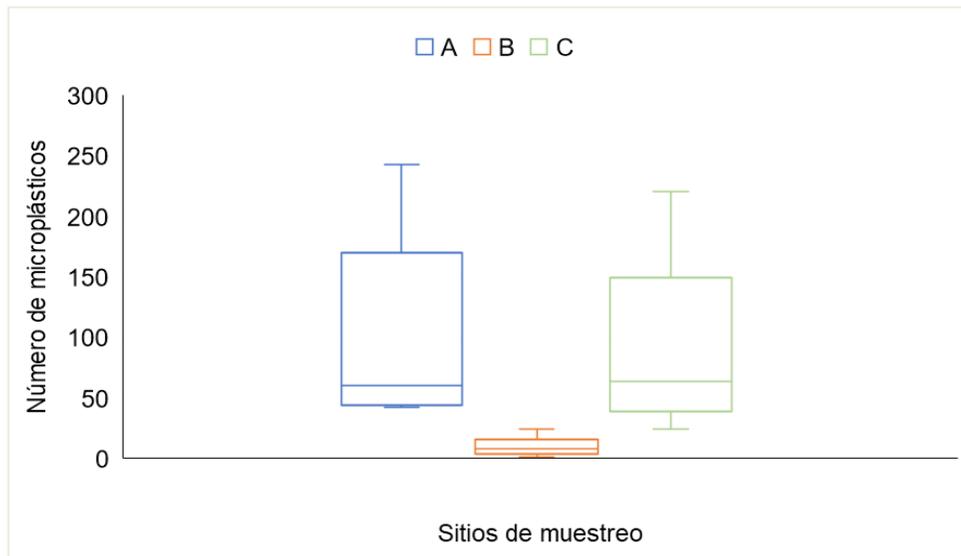


Figura 36. Diferencias en la cantidad de microplásticos encontrados en sitios de muestreo A,

B y C del río Acula.

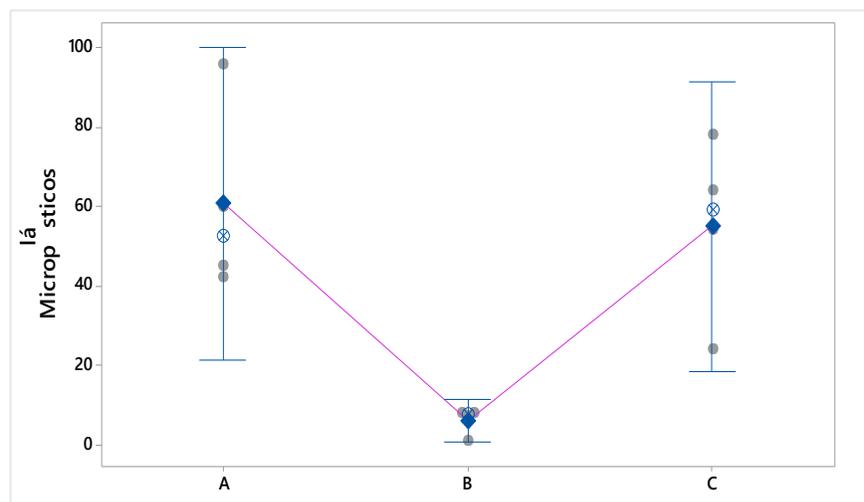


Figura 37. Intervalos entre microplásticos de los sitios de muestreo A, B y C del Río Acula, 95% de IC para la media, además las desviaciones estándar individuales se utilizaron para calcular los intervalos.

11.4 Microplásticos obtenidos en *D. maculatus* y sedimento del río Acula

El análisis de comparación de tipos de microplásticos presentes en *D. maculatus* y sedimento, muestra que la dominancia de formas fue de fibras para ambos elementos 97% y 95% respectivamente (Tabla 20). En el sedimento se encontró que domina el color blanco con un 59.34%, transparente con un 15.20% y azul 10.27% (Tabla 21).

Tabla 20. Comparación entre los porcentajes de formas en microplásticos de *D. maculatus* y sedimentos.

Formas	<i>D. maculatus</i>		Sedimentos	
Fibra	1106	97.5%	464	95.2%
Pellet	10	0.88%	0	0.00%
Film	13	1.14%	16	3.28%
Fragmento	5	0.44%	6	1.23%
Irregular	0	0.00%	1	0.20%
Total	1134	100%	487	100%

Tabla 21. Comparación entre los porcentajes de colores en microplásticos de *D. maculatus* y sedimentos.

Color	<i>D. maculatus</i>		Sedimentos	
Azul	704	68.0%	50	10.3%
Negro	200	17.6%	15	3.08%
Rojo	53	4.67%	7	1.43%
Verde	9	0.79%	33	6.77%
Transparente	141	12.4%	74	15.1%
Amarillo	17	1.49%	19	3.90%
Blanco	10	0.88%	289	59.3%
Total	1134	100%	487	100%

12 DISCUSIÓN

El presente estudio muestra la presencia de microplásticos en el 100% de los organismos de *D. maculatus*, se confirma y refleja la contaminación por plásticos en el SLA, como ocurre en otros estudios de ecosistemas acuáticos, que han reportado en los últimos años en distintas partes del mundo, desde aguas intercontinentales hasta el polo norte (Waller *et al.*, 2017), estos microplásticos encontrados, muestran una dominancia por los aquellos en forma de fibra con un 97.53 %, mientras que la abundancia de films fue baja con 1.15%; como se observa en la tabla 18, estos resultados coinciden con las formas de microplásticos presentados por los autores Lusher *et al.* (2013); Koongolla *et al.* (2018); Kumar *et al.* (2018); Morgana *et al.* (2018) y De vries *et al.* (2020) por que en sus estudios la predominancia también existe una dominancia por la cantidad de fibras plásticas presentadas en peces, las fibras sintéticas son una forma de plástico que se encuentra con frecuencia en los intestinos de animales marinos destacando los peces entre todos ellos (Ryan *et al.*, 2016).

Lebreton *et al.* (2017); Kelly *et al.* (2019) y Emmerik y Schwarz, (2020) afirman que las fibras son partículas que provienen de diferentes fuentes, como por ejemplo el desgaste de ropa sintética con el uso de lavadoras, las cuales desprenden grandes cantidades de fibras generadas por la acción mecánica, éstas, posteriormente son depositadas en ríos y por consiguiente arrastradas hasta los océanos, tanto por escorrentía como por deposición atmosférica (Browne *et al.*, 2011; Gasperi *et al.*, 2015), además Browne *et al.*, 2011 mencionan que una prenda puede arrojar más de 1900 fibras por lavado en lavadora, demostrando que el uso de lavadoras puede, indirectamente, agregar cantidades considerables de fibras microplásticas a los hábitats marinos. De igual manera, una de las actividades que contribuyen con la presencia de estos microplásticos, son las artes de pesca, puesto que muchas de ellas están hechas de materiales sintéticos que se desprenden durante su uso de los diferentes artículos o cuando son abandonadas en esta actividad (Jonathan *et al.*, 2021). En este sentido, las áreas densamente pobladas y hábitats que reciben aportaciones de aguas residuales presentan mayor presencia de microplásticos, particularmente las que tienen forma de fibras (Browne *et al.*, 2011). Las investigaciones anteriores concuerdan con el resultado del análisis de microplásticos de esta investigación obteniendo la predominancia de fibras con 97.53 %.

En esta investigación se obtuvo que los colores azul y negro fueron los predominantes con 62.08 % y 17.64% respectivamente, resultados que difieren a los reportados por Phillips y Bonner,

(2015) y Pan *et al.* (2021), quienes reportaron en mayor porcentaje de microfibras color blanco (Tabla 22), el color se asocia a las redes de pesca, líneas y cuerdas (Lusher *et al.*, 2015), el color negro a neumáticos, abrasivos y bolsas de plástico (Andrady, 2011; Lassen *et al.*, 2015).

Tabla 22. Presencia de microplásticos en diferentes especies de peces, indicando porcentaje de ocurrencia (%), el órgano analizado, forma y color predominante.

Autores	Ocurrencia %	Órgano	Forma predominante	Color Predominante
Lusher <i>et al.</i> , 2013	36.5	Intestino	Fibras	Negro
Phillips y Bonner, 2015	66.0	Intestino	Fibras	Blanco y azul
Liboiron <i>et al.</i> , 2016	2.40	Intestino	Fragmentos	Blanco y verde
Brate <i>et al.</i> , 2016	8.20	Intestino	Películas	-
Murphy <i>et al.</i> , 2017	47.7	Intestino	Fibras	Negro
Kumar <i>et al.</i> , 2018	30.0	Intestinos	Fibras	Rojo
De vries <i>et al.</i> , 2020	20.5	Intestino	Fibras	Azul y verde
Koongolla <i>et al.</i> , 2020	49.1	Intestinos y branquias	Fibras	Azules
Jonathan <i>et al.</i> , 2021	66.0	Intestino	Fibras	Blanco-transparente y azul
Martínez-Tavera <i>et al.</i> , 2021	100	Intestino	Fibras	Negro
Sánchez-Hernández <i>et al.</i> , 2021	100	Intestino	Fibras	Negro
Park <i>et al.</i> , 2020	100	Intestinos y branquias	Fragmentos	-
Pan <i>et al.</i> , 2021	96.2	Intestinos y branquias	Fibras	Azul y blanco
Presente estudio	100	Intestinos y branquias	Fibras	Azul

En estudios de contaminación por microplásticos en los peces silvestres, los microplásticos se encuentran más en el tracto gastrointestinal, las branquias y la piel, con menor abundancia en otros órganos como los músculos y el hígado (Su *et al.*, 2019), cabe resaltar que estudios en otras especies como el de Au *et al.* (2015) mencionan que las microfibras son más tóxicas que las microesferas para el *Hyalella azteca* debido al mayor tiempo de residencia de las fibras en el intestino del organismo.

Jovanovic' *et al.* (2018), proponen que la presencia de microplásticos en intestinos es causa de ingesta intencional o accidental, debido a la disponibilidad de estos contaminantes en el agua o sedimentos, o por la depredación de presas contaminadas con microplásticos. Además Boerger *et al.* (2010) proponen que los microplásticos en forma de fibra pueden confundirse con el alimento de los peces en el océano especialmente los azules, lo que podría explicar la alta presencia de microfibras de color azul en algunas especies de peces estudiados, sin embargo no coincide con los resultados de esta investigación, dado que *D. maculatus* es un pez dentritivoro que se alimenta de forma pasiva, por lo cual podemos inferir que su presencia es dada por sus hábitos asociados al sedimento y una alimentación cerca al sustrato que contiene desechos plásticos (Figura 38), sitio que usualmente se considera el último vertedero de plásticos (Jabeen *et al.*, 2017), además, se ha informado de la presencia de fibras en peces pelágicos y demersales (Lusher *et al.*, 2013) y especies intermareales (Mizraji *et al.*, 2017) mostrando distintos hábitos de alimentación.

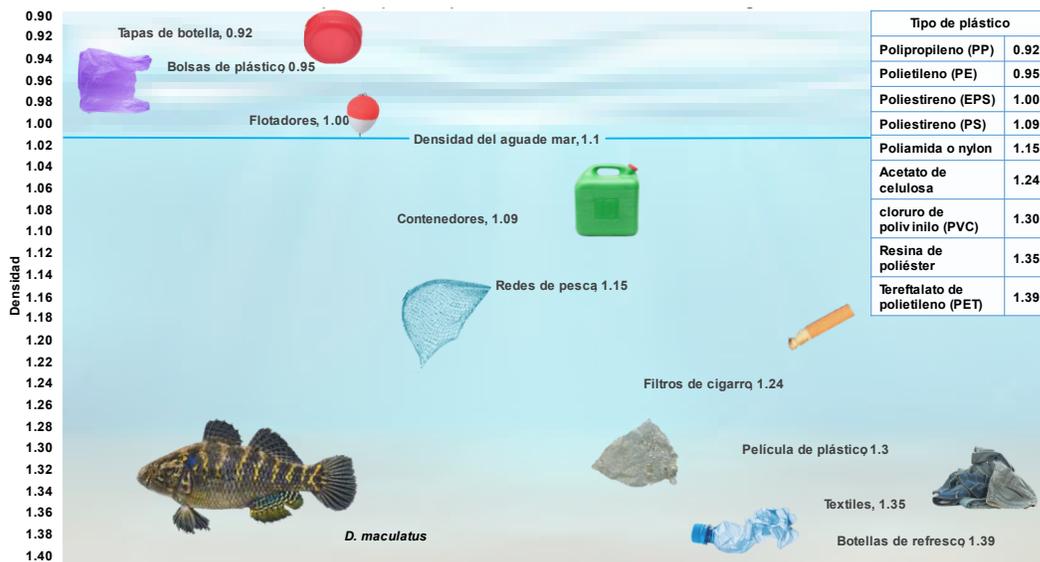


Figura 38. Distribución de los diferentes tipos de plásticos por su densidad en la columna de agua y hábitat de *D. maculatus* (Modificado de: Andradý, 2011 y GESAMP, 2015.).

En el presente estudio no se presentaron diferencias significativas entre la cantidad los microplásticos presentes en branquias e intestinos, a diferencia de los resultados reportados por Park *et al.*, 2020, Koongolla *et al.*, 2020 y Pan *et al.*, 2021 donde encontraron que la cantidad de microplásticos en el intestino era mayor que en las branquias (tabla 22). La alta presencia de microplásticos en branquias está relacionado con la estructura anatómica en forma de peine que permite capturarlas (Pan *et al.*, 2021), además, la alta disponibilidad de este contaminante en el hábitat de los peces contribuye a una alta frecuencia de contaminación por microplásticos en peces demersales como lo es *D. maculatus*. Por lo cual, en este caso se puede inferir su alta presencia en branquias se da debida filtración del agua y en intestinos por el consumo incidental.

El presente trabajo además de considerar los páramentos biológicos como lo son sexo, talla, peso, índice de condición y plenitud intestinal se contempla la longitud y peso del intestino, así como el peso de las branquias como variables consideradas. En cuanto al sexo no se presenta algún tipo de diferencia entre la cantidad, forma o color de microplásticos presentes en machos y hembras.

El estudio de Foekema *et al.* (2013) no encontraron relación entre el factor de condición de los peces y la presencia de partículas de plástico ingeridas, sin embargo, mencionan que este resultado puede ser a causa del número de muestra que tienen por especie, puesto que es muy bajo, el número más alto que tuvo por especie fue de 87 por sitio y una incidencia muy baja de microplásticos, recomiendan replicar el resultado con un número mayor de muestra. La ausencia de una relación entre la aparición de microplásticos y el índice de condición obtenido en este trabajo de investigación coincide con lo reportado por Morgana *et al.* (2018) quienes no encuentran algún tipo de relación entre la cantidad de microplásticos y el índice de condición.

Por otro lado, Brate *et al.* (2016) y Liboiron *et al.* (2016) encontraron una relación significativa entre la plenitud intestinal y los microplásticos, coincidiendo con aquellos intestinos que fueron clasificados como “llenos” contenían un mayor número de microplásticos. Además, se sugiere que la presencia de microplásticos en especies de peces mesopelágicos, indica una tendencia al incremento respecto a la abundancia de microplásticos en categorías de menor tamaño (Wieczorek *et al.*, 2018). Sin embargo, para nuestro estudio no existe algún tipo de relación entre la cantidad total de microplásticos entre intestinos o branquias, con las variables como el peso, talla, factor de condición, las clasificaciones de plenitud intestinal, pese que el peso del intestino y branquias presentan relación con la cantidad de plásticos en estos órganos, esta es muy débil y el modelo no es confiable. Dentro de este contexto podemos considerar que la presencia de partículas individuales que frecuentemente se encuentran por individuo disminuye posibilidad de acumulación, por lo tanto, un existe un efecto no visible a simple vista en la salud de los peces (Foekema *et al.*, 2013; De Vries *et al.*, 2020).

En particular la relación del peso del intestino con los microplásticos puede ser a causa de la biomasa, aunque en este caso en particular no se muestra algún efecto negativo ya que el tamaño de los microplásticos parecen demasiado pequeños para afectar las condiciones de los peces al causar falsas sensaciones de saciedad, bloqueo intestinal o lesiones en el tracto digestivo (Foekema *et al.*, 2013) y así influir en algún parámetro biológico, sin embargo se ha documentado que el intestino es un órgano interno sensible al daño por microplásticos (Hariharan *et al.*, 2021) y, a menudo, el punto de entrada para que los patógenos lleguen al entorno interno del cuerpo (Kinnebrew y Pamer, 2012). El intestino también funciona como el órgano principal de los organismos acuáticos contribuyendo en la digestión, absorción de nutrientes y el metabolismo

(Yang *et al.*, 2019; Gu *et al.*, 2020), cabe mencionar que desempeña un papel importante en el sistema inmunitario ya que contiene la mayor cantidad de células inmunitarias entre los tejidos del cuerpo (Mowat y Agace, 2014), cualidades que se podrían ver afectadas por la presencia de microplásticos. La retención de microplásticos en peces genera obstrucción del tracto digestivo causando otro tipo de afecciones, como la reducción de las reservas de energía, alteraciones hormonales, retraso de la madurez sexual e inhibición del crecimiento (Xiong *et al.*, 2018), aunque esta última no se cumple en su totalidad para todas las especies como en este caso. Lu *et al.* (2016) observaron respuestas inflamatorias tempranas, vacuolización, infiltración y necrosis, en los hepatocitos de los grupos de pez zebra (*Danio rerio*) tratados con microplásticos, además demostraron una alteración de los perfiles metabólicos en el hígado de los peces, así como un aumento de enzimas antioxidantes y signos de estrés hepático. Otro de los problemas, resultado de la presencia de microplásticos es el transporte de contaminantes orgánicos persistentes por medio de los estos, induciendo a una bioacumulación que aumenta con la edad (De vries *et al.*, 2020), además de una biomagnificación que altera la cadena trófica (Gallo *et al.*, 2018).

En el sedimento analizado se encontró el predominio de microplásticos de color blanco con un 59.34%, seguido por transparente con un 15.20% y azul 10.27%, difieren por su color respecto a los presentes en *D. maculatus*, la diferencia de coloración puede ser a causa del tiempo en el cual estuvieron expuestos en el ambiente, la meteorización además de provocar la fragmentación también genera un aumento de la cristalinidad y el amarillamiento o decoloración de la superficie (Liu *et al.*, 2020).

Debido a que los sedimentos actúan como áreas de acumulación permite de los microplásticos estos se vean favorecidos por los intersticios presentes en los granos de los sedimentos, permitiendo que los microplásticos se acomoden en esos espacios (Peeken *et al.*, 2018; Govender *et al.*, 2020), además los polímeros de alta densidad se hunden acumulándose en el sedimento (Naidu *et al.*, 2018). Lo que explica el resultado de este análisis del sedimento del Río Acula presenta una predominancia de fibras plásticas en un 95.28%, seguido de un 3.29% de film y un 1.23 % de fragmentos, resultados muy parecidos a los obtenidos con *D. maculatus*.

La presencia, cantidad, variedad, tamaño y distribución de los microplásticos son influenciados por composición química, factores físicos y la intensidad de la luz ultravioleta (Thompson *et al.*, 2004; Barnes *et al.*, 2009) además, los factores como la acción mecánica, la fotocloración y la biodegradación, provocan que las piezas grandes de desechos plásticos se vuelvan más pequeñas y livianas, de modo que la cantidad de piezas pequeñas aumente exponencialmente (Isobe *et al.*, 2015). Los resultados de las formas de fibras y de color blanco de microplásticos obtenidos en esta investigación es similar a lo reportado por

Frías *et al.* (2016) y Ballent *et al.* (2016) quienes mostraron que la mayoría de microplásticos en sedimentos costeros de aguas de la plataforma del sur de Portugal y del lago canadiense Ontario, respectivamente, fueron microplásticos en forma de fibras, en el presente estudio, el 95.2 % de los microplásticos también son fibras. Las concentraciones de microplásticos cuantificadas en este estudio son comparables a las reportadas en la literatura para otros estudios en todo el mundo, aunque la amplia gama de técnicas existentes y la cuantificación unidades limita la comparación de resultados (Qiu *et al.*, 2015).

Zamprogno *et al.* (2021) encontraron una correlación positiva entre la cantidad de microplásticos y la densidad de vegetación muerta, esta hipótesis se puede asociar a la cantidad de microplásticos en el punto B de nuestro estudio este punto es el sitio que contenía la menor cantidad de materia orgánica, a comparación del sitio A y C. Por otro lado, el Río Acula recibe aportaciones de contaminación directa de la comunidad de Cosamaloapan y Río Acula, como se mencionó anteriormente las áreas densamente pobladas y hábitats que reciben aportaciones de aguas residuales presentan mayor presencia de microplásticos, particularmente las que tienen forma de fibras (Browne *et al.*, 2011), al ser parte de la cuenca baja, se presentan las concentraciones más altas de microplásticos, como reflejo de la urbanización e industrialización (Shruti *et al.*, 2019).

Tabla 23. Estudios sobre la presencia de microplástico en sedimentos indicando forma y color predominante en Kg en el el sitio de estudio.

Autores	Forma predominante	Ítems/kg	Color predominante	Sitio
Abidlin <i>et al.</i> , 2017	Fibras	7960 ± 6840	Transparentes	Complex Lagoon-Channel of Bizerte (Norte de Túnez)
Vianello <i>et al.</i> , 2013	Irregulares	672 ± 2175	-	Lagoon of Venice (Italy)
Frías <i>et al.</i> , 2016	Fibras	10 ± 1	-	Lagoon Ontario (Canada)
Wang <i>et al.</i> , 2017	-	312	-	Beijiang River (China)
Peng <i>et al.</i> , 2018	Pellet (Esferas)	88	Blanco	River networks, Shanghai (China)
Vermaire <i>et al.</i> , 2017	Fibras	220	Rojas y azules	Ottawa River (Canada)
Horton <i>et al.</i> , 2017	Fibras	1398	-	Thames River, (United Kingdom)
Rodrigues <i>et al.</i> , 2018	Espumas y fibras	18 ± 629	-	Antuã River (Portugal)
Hurley <i>et al.</i> , 2018	Microesferas (Pellet)	2812 ± 6350	-	Mersey and Irwell river network (England)
Shruti <i>et al.</i> , 2019	Films	4500	Blancas	Atoyac River basin (Mexico)
Presente estudio	Fibras	324.	Blancas	Sistema Lagunar de Alvarado (México)

Por último, se debe de considerar un tema que ha sido poco estudiado, pero contribuye directamente a la contaminación, la pandemia de COVID-19 puede ser una de las causantes de la alta cantidad de microplásticos encontrados en este estudio, consecuencia de la alta demanda de artículos plásticos durante este periodo, de acuerdo con Klemeš *et al.* (2020) la pandemia ha intensificado la demanda de plástico para la producción de equipos de protección personal, suministros médicos y embalajes.

Para abordar este problema, los diseñadores de ropa y lavadoras deben considerar la necesidad de reducir la liberación de fibras en las aguas residuales y se necesita investigación para

desarrollar métodos para eliminar los microplásticos de las aguas residuales, por ejemplo, la ultrafiltración de aguas residuales que presentan una menor cantidad de partículas plásticas (Habib *et al.*, 1998 y Browne *et al.*, 2011).

Dentro de este contexto y con todas sus consideraciones, este estudio es el primero en registrar la cantidad y variedad de microplásticos presentes en el sistema lagunar de Alvarado utilizando a *D. maculatus* y el sedimento como indicadores y a pesar de las incertidumbres y complejidades de para analizar la contaminación por microplásticos, se observaron microplásticos en las dos diferentes grupos de muestras, con las cuales se puede hacer una inferencia en cuanto a las fuentes de contaminación de las cuales provienen. Se consideró que la mayoría de los microplásticos de este estudio son microplásticos secundarios, además que estas partículas podrían atribuirse a diferentes fuentes como los son fibras derivadas de textiles sintéticos y fragmentos de desechos, como grandes botellas de plástico (polipropileno) o materiales de embalaje (poliestireno), esto aunado a la entrada de aguas residuales y efluentes como una fuente importante de contaminación, dado que muchas de las partículas encontradas eran fibras.

La variedad y cantidad de microplásticos observados en este estudio no representan la totalidad de la contaminación por microplásticos en el SLA, ya que estos resultados solo representan un porcentaje de la contaminación de microplástico en el sitio de los cuales existen factores que influyen en su presencia y abundancia, específicamente las aguas residuales y degradación de la basura en el sitio proveniente de las zonas urbanas, además se sugiere una contaminación por microplásticos en los ecosistemas de agua dulce omnipresente, por lo cual se deben de desarrollar métodos eficientes y pulcros así como análisis más completos e investigaciones enfocadas a los efectos negativos sobre la fisiología de las especies provocada por la contaminación por microplásticos para así poder fortalecer nuestra comprensión de la variabilidad espacial y temporal de la contaminación por plásticos en los sistemas de agua dulce, siendo un importante vacío de conocimiento en la gestión de la calidad del agua para la protección de la vida acuática.

13 CONCLUSIONES

Se confirma la presencia de microplásticos en *Dormitator maculatus* y sedimento de la laguna de Alvarado.

Los parámetros biológicos: peso, talla, factor de condición y plenitud intestinal, no presentaron ninguna relación entre la cantidad de microplásticos totales en intestinos y branquias.

No existe diferencia significativa entre la abundancia de microplásticos encontrados en branquias e intestinos de *D. maculatus*.

El peso del intestino y branquias presentan una relación muy débil con la cantidad de microplásticos plásticos en estos órganos.

En las muestras de *D. maculatus* y sedimento predominaron las fibras.

Los microplásticos de color azul predominan en *D. maculatus*, y el color blanco en sedimento.

La similitud en las formas de los microplásticos apoya la hipótesis de una alta contaminación por microplásticos, se refleja en la presencia de estos contaminantes en los intestinos y branquias de *D. maculatus*.

D. maculatus se propone como bioindicador de contaminación por microplásticos debido a su amplia distribución y su posición en la cadena trófica.

La presencia de microplásticos en el sedimento nos indica una contaminación proveniente de zonas altamente urbanizadas cercanas.

El presente estudio sirve como referencia para poder establecer un índice de contaminación basado en la cantidad de microplásticos presentes en intestinos y branquias de la especie.

El color y forma de los microplásticos nos indican que provienen de zonas urbanas producto de diversas actividades cotidianas como el lavado de ropa o pesca, además de una mala gestión de aguas residuales.

La interpretación de la relación entre el sedimento y *D. maculatus* podrá servir para determinar el grado de contaminación y así contribuir al conocimiento y desarrollo propuestas de gestión ambiental en beneficio del ambiente.

14 REFERENCIAS

- Able, K.W. (2005). A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 64, 5 - 17.
- Aguirre, J.C., Balart E.F. y Martínez J.A. (1995). Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México. *Hidrobiológica*, 5(1-2), 57 - 78.
- Akdogan, Z., y Guven, B. (2019). Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environmental Pollution*, 254, 113011.
- Alimi, O.S., Farnar Budarz J., Hernandez L.M. y Tufenkji N. (2018). Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: Aggregation, deposition, and enhanced contaminant transport. *Environmental science y technology*, 52(4), 1704 - 1724.
- Anderson J.C., Park B.J., and Palace V.P. (2016). Microplastics in aquatic environments: implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218: 269 - 280.
- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596 - 1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Andrady, A.L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12 - 22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas M.E., Montero Muñoz J.L. y Hernández de Santillana M.J. (2010). Influencia del hábitat en las asociaciones nictimerales de peces en una laguna costera tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 823 - 837.
- Arthur, C., Baker J.E. y Bamford H.A. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA. (s/f). Recuperado el 30 de julio de 2022, <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2509>
- Atamanalp, M., Kokturk M., Parlak V., Ucar A., Arslan G. y Alak G. (2022). A new record for the presence of microplastics in dominant fish species of the Karasu River Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16243-w>
- Au, S.Y., Bruce T.F., Bridges W.C., and Klaine S.J. (2015). Responses of *Hyalella azteca* to acute and chronic microplastic exposures. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(11): 2564 – 2572.
- Avio, C.G., Gorbi S. y Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 111, 18 - 26. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.014>
- Bakir, A., Rowland S.J. y Thompson R.C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental pollution*, 185, 16 - 23.
- Ballent, A., Corcoran, P. L., Madden, O., Helm, P. A., & Longstaffe, F. J. (2016). Sources and sinks of microplastics in Canadian Lake Ontario nearshore, tributary and beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 110, 383–395
- Barboza, L.G.A. y Jiménez B.C.G. (2015). Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1 - 2), 5 - 12.

- Barletta, M., Barletta-Bergan, A., Saint-Paul, U., y Hubol, G. (2005). The role of salinity in structuring the fish assemblages in tropical estuary. *Journal of Fish Biology*, 66, 45-72.
- Barnes, D.K.A., Galgani G., Thompso R.C., Barlaz, M., (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* 364, 1985 - 1998.
- Barreiros, J.P., Branco J.O., Junior F.F., Machado L., Hostim-Silva, M. y Verani J.R. (2009). Space-time distribution of the ichthyofauna from Saco da Fazenda estuary, Itajaí, Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 25, 1114 - 1121.
- Batel, A., Linti F., Scherer M., Erdinger L. y Braunbeck T. (2016). Transfer of benzo [a] pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants. *Environmental toxicology and chemistry*, 35(7), 1656 - 1666.
- Berlanga-Robles, C.A., Ruiz-Luna A., y Lanza Espino de la G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones geográficas*, 66, 25 - 46.
- Besley, A., Vijver M.G., Behrens P. y Bosker T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 77 - 83. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055>
- Boerger, C.M., Lattin G.L., Moore S.L. y Moore C.J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine pollution bulletin*, 60(12), 2275 - 2278.
- Browne, M.A., Chapman M.G., Thompson R.C., Amaral Zettler L.A., Jambeck J., Mallos N.J. (2015). Spatial and temporal patterns of stranded intertidal marine debris: is there a picture of global change? *Environ. Sci. Technol.* 49, 7082 – 7094.
- Browne, M.A., Crump P., Nive S.J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T. y Thompson R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175 - 9179.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinoza-Pérez, H S. y Schmitter-Soto, J.J. (1999). Ictiofauna estuario lagunar y vicaria de México. En Limusa-Noriega (Ed), *Series biotecnologías IPN*. 777. ISBN 968-18-5774-7.
- Cervantes, M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 37 - 67.
- Chávez-López, R., Franco-López H., Montoya-Mendoza J., Corro F.T. y López P.N. (1994). Características biológicas de la naca *Dormitator maculatus* en la laguna de Alvarado, Veracruz. *Res. X Simp. Intern. Biol. Mar.* 63
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588–2597.
- Dávila-Camacho, C. A., y Galaviz-Villa, I. (2021). Basic Biological Aspects of *Dormitator maculatus* “Naca” (Bloch, 1792) from the Alvarado Lagoon in Veracruz, Mexico. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 690(1), 012063.
- Dávila-Camacho, C.A., Galaviz-Villa, I., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M., Brahms, C. y Montoya, J. (2017). Variación del factor de condición de *Dormitator maculatus* (Bloch, 1792) en la Laguna de Alvarado, Veracruz. 1321 - 1327.
- Dávila-Camacho, C.A., y Galaviz-Villa, I. (2021). Basic Biological Aspects of *Dormitator maculatus*

- “Naca” (Bloch, 1792) from the Alvarado Lagoon in Veracruz, Mexico. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 690(1), 1 -10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/690/1/012063>.
- De Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., & Futter, M. N. (2018). Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? *Sci. Total Environ.* 645, 1029 - 1039.
- De Vries, A.N., Govoni D., Árnason S.H. y Carlsson P. (2020). Microplastic ingestion by fish: Body size, condition factor and gut fullness are not related to the amount of plastics consumed. *Marine pollution bulletin*, 151, 110827.
- Deblonde, T., Cossu-Leguille C. y Hartemann P. (2011). Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature. *International journal of hygiene and environmental health*, 214(6), 442 - 448.
- Desforges, J.P.W., Galbraith M., Dangerfield N. y Ross, P.S. (2014). Distribución generalizada de microplásticos en el agua de mar subsuperficial en el NE del Océano Pacífico. *Boletín de contaminación marina*, 79 (1-2), 94 - 99.
- Engler, R.E. (2012). The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environmental science y technology*, 46(22), 12302-12315.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL.
- Espinosa-Pérez, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 450-459.
- Flores-Coto, C., y Méndez-Vargas, M. L. (1982). Contribución al conocimiento del ictioplanton de la Laguna de Alvarado, Veracruz.
- Forrest, A. y Hindell, M. (2018). Ingestion of plastic by fish destined for human consumption in remote South Pacific Islands. *Australian Journal of Maritime y Ocean Affairs*, 10(2), 81 - 97.
- Franco-López, J. (2017). Análisis del comportamiento estacional e interanual de la comunidad ictiofaunística asociada a zonas de manglar en la laguna de Alvarado, Veracruz. *Biocyt: Biología Ciencia y Tecnología*, 10, 37 - 39.
- Franco-López, J., Bedia-Sánchez C.M., Peláez-Rodríguez E., Viveros-Legorreta J.L., Ortiz-Touzet M.A. and Vázquez-López H. (2019). Ecological Aspects of *Dormitator maculatus* Bloch, 1792 in the Alvarado Lagoon, Veracruz, Mexico. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20 (1), 51 - 60. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_1_05.
- Franco-López, J., Chávez-López R., Peláez-Rodríguez E., y Bedia-Sánchez C.M. (1996). Riqueza ictiofaunística del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz. 18-25.
- Free, C.M., Jensen O.P, Mason S., Eriksen M., Williamson N.J., Boldgiv B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85, 156 - 163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>.
- Frías, A.C. y García A.G. (2003). La situación de los envases de plástico en México. 17.
- Frias, J. P. G. L., Gago, J., Otero, V., & Sobral, P. (2016). Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research*, 114, 24–30
- Froese, R. y Pauly, D. (2021). Fishbase. Publicación electrónica en la World Wide Web. www.fishbase.org.
- Froese, R., Tsikliras A.C. y Stergiou K.I. (2011). Editorial Note on Weight–Length Relations of Fishes. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 41(4) 261 - 263. <https://doi.org/10.3750/AIP2011.41.4.01>
- Gallo, F., Fossi C., Santillo D., Sousa J., Ingram I., Nadal A. y Romano D. (2018). Marine litter plastics

- and microplastics, and their toxic chemical components: the need for urgent preventive measure. *Environmental Sciences Europe*. 30(1) 13.
- Gasperi J., Dris R., Mirande-Bret C., Mandin C, Langlois V, y Tassin B. (2015). First overview of microplastics in indoor and outdoor air [online]. Available from <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01195546>.
- Gavrilescu, M., Demnerová K., Aamand J., Agathos S. y Fava, F. (2015). Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New biotechnology*, 32(1), 147-156.
- Gelwick, F.P., Akin S., Arrington D.A. y Winemiller K.O. (2001). Fish assemblage structure in relation to environmental variation in a Texas Gulf coastal wetland. *Estuaries* 24, 285-296.
- Gil, M.J., Soto A.M., Usma J.I., y Gutiérrez O.D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+ limpia*, 7(2), 52 - 73.
- Govender, J., Naidoo T., Rajkaran A., Cebekhulu, S. y Bhugeloo A. (2020). Towards characterising microplastic abundance, typology and retention in mangrove-dominated estuaries. *Water*, 12(10) 2802.
- Gu, H., Wang, S., Wang, X., Yu, X., Hu, M., Huang, W., Wang, Y., 2020. Nanoplastics impair the intestinal health of the juvenile large yellow croaker *Larimichthys crocea*. *J. Hazard Mater.* 397, 122773.
- Guzzetti, E., Sureda A., Tejada S. y Faggio C. (2018). Microplastic in marine organism: environmental and toxicological effects. *Environmental toxicology and pharmacology*.
- Habib, D., Locke D.C. y Cannone L.J. (1998). Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water, Air, and Soil Pollution*, 103(1), 1 - 8.
- Hariharan, G., Purvaja, R., Anandavelu, I., Robin, R.S., Ramesh, R., 2021. Accumulation and ecotoxicological risk of weathered polyethylene (wPE) microplastics on green mussel (*Perna viridis*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 208, 111765.
- Herrera-Silveira, J.A., y Morales-Ojeda S. (2010). Capítulo10: Lagunas costeras. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. Mérida: CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma.
- Herrera, A., Garrido-Amador P., Martínez I., Samper M.D., López-Martínez J., Gómez, M. y Packard T.T. (2018). Novel methodology to isolate microplastics from vegetal-rich samples. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1) 61 - 69. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.015>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow L., Thompson R.C. y Thiel M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060 - 3075. Recuperado el 30 de julio de 2022, de <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Holland E.R., Mallory M.L., and Shutler D. (2016). Plastics and other anthropogenic debris in freshwater birds from Canada. *Science of the Total Environment*. 571:251 - 258.
- Huertas Rodríguez, J.C., Sanín Acevedo C. y Cataño A. (2018). Los peces y sus servicios ecosistémicos en la cuenca del río Porce, 40(108), 72 - 84.
- Igalavithana, A.D., Mahagamage M.G.Y.L., Gajanayake P., Abeynayaka A., Gamaralalage P.J.D., Ohgaki M., Takenaka M., Fukai T., and Itsubo N. (2022). Microplastics and Potentially Toxic Elements: Potential Human Exposure Pathways through Agricultural Lands and Policy Based Countermeasures. *Microplastics*. 1, 102-121. <https://doi.org/10.3390/microplastics1010007>.
- Isobe, A., Uchida K., Tokai T. and Iwasaki S. (2015). East Asian seas: a hot spot of pelagic microplastics.

- Marine pollution bulletin, 101(2), 618 - 623.
- Jabeen, K., Su L., Li J., Yang D., Tong C., Mu J. y Shi H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141-149.
- Jacquin, J., Cheng J., Odobel C., Pandin C., Conan P., Pujo-Pay M., Barbe V., Meistertzheim, A.L., y Ghiglione, J.F. (2019). Microbial ecotoxicology of marine plastic debris: A review on colonization and biodegradation by the "plastisphere". *Frontiers in microbiology*, 10, 865.
- Jahnke, A., Arp, H.P.H., Escher B.I., Gewert, B., Gorokhova E., Kühnel D., Ogonowski M., Potthoff A., Rummel C. y Schmitt-Jansen M. (2017). Reducing uncertainty and confronting ignorance about the possible impacts of weathering plastic in the marine environment. *Environmental Science & Technology Letters*, 4(3), 85 - 90.
- Jonathan, M.P., Sujitha S.B., Rodriguez-Gonzalez F., Villegas L.E.C., Hernández-Camacho C.J. y Sarkar S.K. (2021). Evidences of microplastics in diverse fish species off the Western Coast of Pacific Ocean, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 204, 105544.
- Jovanovic´, B., Gökdağ K., Güven O., Emre Y., Whitley E.M., Kideys A.E. Virgin. (2018). Microplastics are not causing imminent harm to fish after dietary exposure. *Mar. Pollut. Bull.* 130, 123 - 131.
- Karan, H., Funk C., Grabert M., Oey M. y Hankamer B. (2019). Green bioplastics as part of a circular bioeconomy. *Trends in plant science*, 24(3), 237 - 249.
- Kennish, M., y Hans P. (2010). Coastal lagoons: critical habitats of environmental change. In CRC Press. <https://doi.org/10.4337/9781785365805.00040>
- Kershaw, P. J., & Rochman, C. M. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. Reports and Studies-IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) Eng No. 93.
- Kinnebrew, M.A., Pamer, E.G., 2012. Innate immune signaling in defense against intestinal microbes. *Immunol. Rev.* 245, 113–131.
- Klemes, J.J., Van Fan Y., Tan R.R. y Jiang P. (2020). Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 127.
- Koongolla, J.B., Lin L, Pan Y.F., Yang C.P., Sun D.R., Liu S., Xu X.R., Maharana D., Huang J.S., Li H. X. (2020). Occurrence of microplastics in gastrointestinal tracts and gills of fish from Beibu Gulf, South China Sea. *Environ. Pollut.* 258, 113734.
- Kumar, V.E., Ravikumar G. y Jeyasanta K.I. (2018). Occurrence of microplastics in fishes from two landing sites in Tuticorin, South east coast of India. *Marine pollution bulletin*, 135, 889 - 894.
- Laglbauer, B. J., Franco-Santos, M. R., Andreu-Cazenave, M., Brunelli, L., Papadatou, M., Palatinus, A., Grego, M., & Deprez, T. (2014). Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia. *Marine Pollution Bulletin*, 89, 356–366.
- Lara-Domínguez, A.L., Contreras-Espinosa F., Castañeda-López O., Barba-Macías E. y Pérez-Hernández M.A. (2011). Lagunas costeras y estuarios. In A. Cruz Angón (Ed.). *La Biodiversidad en Veracruz: Estudio del Estado*. México: CONABIO. pp. 301 - 317.
- Lara-Lara, J.R., Arreola Lizárraga J.A., Calderón Aguilera L.E., Camacho-IEar V.F., De La Lanza-Espino G., Escofet-Gianson A., EspeMel-CarvaMal M.I., Guzmán-Arroyo M., Ladah L.B. y López-Hernández M. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. 109 - 134 p. En: CONABIO. *Capital natural de México*, 1.

- Lebreton, L., Van Der Zwet, J., Damsteeg J.W., Slat B., Andrad A. y Reisser J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8(1), 1-10.
- Li, C., Wang L., Ji S., Chang M., Wang L., Gan Y. y Liu J. (2021). The ecology of the plastisphere: Microbial composition, function, assembly, and network in the freshwater and seawater ecosystems. *Water Research*, 202, 117428.
- Li, J., Zhang H., Zhang K., Yang R., Li R., and Li Y. (2018). Characterization, source, and retention of microplastic in sandy beaches and mangrove wetlands of the Qinzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 401-406. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.09.025>
- Li, W., Chen, X., Li, M., Cai, Z., Gong, H., & Yan, M. (2022). Microplastics as an aquatic pollutant affect gut microbiota within aquatic animals. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127094.
- Liboiron, M., Liboiron F., Wells E., Richárd N., Zahar A., Mather C., Bradshaw H., Murichi J. (2016). Low plastic ingestion rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) from Newfoundland destined for human consumption collected through citizen science methods. *Mar. Pollut. Bull.* 113, 428 - 437. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.043>.
- Liu, P., Zhan X., Wu X., Li J., Wang H., y Gao S. (2020). Effect of weathering on environmental behavior of microplastics: Properties, sorption and potential risks. *Chemosphere*, 242, 125193.
- Liu, Y., Huang, J., Jin, J., Lou, S., Shen, C., Zang, H., y Wang, L. (2020). The Classification of Microplastics and Biodegradation of Plastics/Micro-plastics. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 3(6).
- López Carrasquero, F. (2004). Fundamentos de polímeros. Escuela Venezolana Para la enseñanza de la Química. Mérida, 49 - 51.
- Lu Y, Zhang Y, Deng Y, Jiang W, Zhao Y, Geng J, Ding L, Ren H. Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. *Environ Sci Technol.* 2016 Apr 5;50(7):4054-60. doi: 10.1021/acs.est.6b00183. Epub 2016 Mar 17. PMID: 26950772.
- Lusher A., Mchugh, M. y Thompson R.C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine pollution bulletin*, 67(1-2), 94-9.
- Lusher, A., Hollman P. y Mendoza-Hill, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. FAO.
- Lusher, A.L., McHugh, M., Thompson, R.B., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 67, 94e99.
- Lusher, A.L., y Hernandez-Milian G. (2018). Microplastic extraction from marine vertebrate digestive tracts, regurgitates and scats: A protocol for researchers from all experience levels. *Bio-protocol*, 8(22), e3087-e3087.
- Lysiak N.S., Trumble S.J., Knowlton A.R., y Moor M.J. (2018). Characterizing the duration and severity of fishing gear entanglement on a North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) using stable isotopes, steroid and thyroid hormones in baleen. *Frontiers in Marine Science*, 5, 168.
- Martí, M.A.C. (2007). Principios de ecotoxicología. Editorial Tebar, 11-58.
- Martinez-Tavera, E., Duarte-Moro A.M., Sujitha S.B., Rodriguez-Espinosa P.F., Rosano-Ortega G. y Expósito N. (2021). Microplastics and metal burdens in freshwater Tilapia (*Oreochromis niloticus*) of a metropolitan reservoir in Central Mexico: Potential threats for human health. *Chemosphere*, 266, 128968.

- Masura, J., Baker J., Foster G. y Arthur C. (2015). Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum 31. NOS-OR&R-48.
- Mazariegos-Ortíz, C., Xajil-Sabán M., Blanda, E., Delvalle-Borrero, D. 2021. Ocurrencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces de la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico, Guatemala. *Ecosistemas* 30(2): 2188. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2188>
- McCormick, A., Hoellein, T.J., Mason, S.A., Schluep, J., Kelly, J.J., 2014. Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environ. Sci. Technol.* 48, 11863–11871.
- Mendoza Mojica, M., Martínez Arroyo A., Espinosa Fuentes M. de la L., Peralta Rosales O. y Castro Romero T. (2013). Caracterización de dos lagunas costeras del pacífico tropical mexicano en relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH₄ y CO₂. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(2), 145 - 154.
- Miller, S.J. y Skilleter G.A. (2006). Temporal variation in habitat use by nekton in a subtropical estuarine system. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 337, 82 - 95.
- Mizraji, R., Ahrendt, C., Perez-Venegas, D., Vargas, J., Pulgar, J., Aldana, M., Ojeda, F.P., Duarte, C., Galban-Malagon, C., 2017. Is the feeding type related with the content of microplastics in intertidal fish gut? *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2006.09.004>.
- Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*, 108(2), 131 - 139.
- Mowat, A.M., Agace, W.W., 2014. Regional specialization within the intestinal immune system. *Nat. Rev. Immunol.* 14, 667–685.
- Muñoz-Rojas, M., Delgado-Baquerizo M. y Lucas-Borja M.E. (2021). La biodiversidad y el carbono orgánico del suelo son esenciales para revertir la desertificación. *Ecosistemas*, 30(3), 2238 - 2238.
- Naidu, S.A., Ranga Ra V. y Ramu, K. (2018). Microplastics in the benthic invertebrates from the coastal waters of Kochi, Southeastern Arabian Sea. *Environmental geochemistry and health*, 40(4), 1377-1383.
- Naji, A., Nuri M., Amiri P., and Niyogi S. (2019). Small microplastic particles (S-MPPs) in sediments of mangrove ecosystem on the northern coast of the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.033>
- Neves D., Sobral P., Lia J. and Pereira T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *MPB*, 101(1), 119 - 126. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.008>.
- Neves, D., Sobral P., Ferreira J.L. y Pereira T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine pollution bulletin*, 101(1) 119 - 126.
- Nor, N.H.M. y Obbard J.P. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 79, 278 – 283. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>.
- Nordlie, F.G. y Haney D.C. (1993). Euryhaline adaptations in the fat sleeper, *Dormitator maculatus*. *J. Fishes Biol.* 43, 433 - 439. Doi: 10.1111/j.1095-8649.1993.tb00578.x.
- Nuelle, M.T., Dekiff J.H., Remy D, y Fries E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental pollution*, 184, 161 - 169.
- ONU Medio Ambiente. (2018). Plásticos de un solo uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad. In *Technology for Environment* (227), Issue 5.
- Ory, N., Chagno C., Felix F., Fernández C., Ferreir J.L., Gallardo C., Ordóñez O.G., Henostroza A., Laaz

- E. y Mizraji R. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211 - 216.
- Páez-Osuna, F. y Osuna-Martínez C. (2011). Biomonitores de la contaminación costera con referencia a las costas mexicanas: Una revisión sobre los organismos utilizados. *Hidrobiológica*, 21(3), 229 - 238.
- Pan, Z., Zhang C., Wang S., Sun D., Zhou A., Xi S., Xu G., Zou J. (2021). Occurrence of Microplastics in the Gastrointestinal Tract and Gills of Fish from Guangdong, South China. *J. Mar. Sci. Eng.* 9, 981. <https://doi.org/10.3390/jmse9090981>
- Papel filtro de pliego poro fino | Viresa*. Recuperado 25 de enero de 2022, de <https://viresa.com.mx/papel-filtro-en-pliegos-poro-fino-var--papf--pf?print=1>. <https://viresa.com.mx/papel-filtro-en-pliegos-poro-fino-var--papf--pf?print=1>.
- Park, T.J., Lee S.H., Lee M.S., Le J.K., Lee, S.H., Zoh K.D. (2020). Occurrence of microplastics in the Han River and riverine fish in South Korea. *Sci. Total Environ.* 708, 134535.
- Paul-Pont, I., Lacroix C., Fernández C.G., Hégaret H., Lambert C., Le Goïc N., Frère L., Cassone, A.L., Sussarellu, R. y Fabioux C. (2016). Exposure of marine mussels *Mytilus* spp. to polystyrene microplastics: Toxicity and influence on fluoranthene bioaccumulation. *Environmental pollution*, 216, 724 - 737.
- Pauly, J.L., Mepani A.B., Lesses J.D., Cummings K.M. y Streck R.J. (2002). Cigarettes with defective filters marketed for 40 years: what Philip Morris never told smokers. *Tobacco Control*, 11(suppl 1), 151-161.
- Peeken, I., Primpke S., Beyer B., Guetermann J., Katlein C., Krumpfen T., Bergmann M., Hehemann L. and Gerdtz, G. (2018). Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat. Commun.* 9 (1), 1505. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03825-5>.
- Peng, G., Xu P., Zhu B., Bai M., Li D. (2018). Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: a case study of risk assessment in mega-cities. *Environ. Pollut.* 234, 448 - 456.
- Pérez-García, J.N. (2020). Causas de la pérdida global de biodiversidad. *Revista de la asociación colombiana de ciencias biológicas*, 1(32), 183 - 198.
- Phillips, M.B. y Bonner T.H. (2015). Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Marine pollution bulletin*, 100(1), 264–269.
- Pombo, L., Elliott, M. y Rebelo, J.E. (2005). Environmental influences on fish assemblage distribution of an estuarine coastal lagoon, Ria de Aveiro (Portugal). *Scientia Marina*, 69(1), 143-159.
- Portilla Ochoa, E. (2003). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Ariel, 1–8. <http://www.citeulike.org/user/Incscatalogo/article/10673836>.
- Portilla-Ochoa, E. (2003). Ficha Informativa de los humedales de Ramsar (FIR). Convención Ramsar, 2003. Instituto de Investigaciones Biológicas. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1355RIS.pdf> [2022, 25 enero].
- Prata, J.C., da Costa J.P., Duarte A.C. y Rocha-Santos T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150 - 159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>
- Pratt, M. y Taraska V. (2000). Disperse blue dyes 106 and 124 are common causes of textile dermatitis and should serve as screening allergens for this condition. *American Journal of Contact Dermatitis*, 11(1), 30 - 41.
- Provencher J.F., Bond A.L. and Mallory M.L. (2015). Marine birds and plastic debris in Canada: a national

- synthesis and a way forward. *Environmental Reviews*, 23(1): 1–13
- Qiu, Q., Peng, J., Yu, X., Chen, F., Wang, J., & Dong, F. (2015). Occurrence of microplastics in the coastal marine environment: first observation on sediment of China. *Marine Pollution Bulletin*, 98, 274–280.
- Ramirez, M.M.B., Caamal R.D. y Von Osten, J.R. (2019). Occurrence and seasonal distribution of microplastics and phthalates in sediments from the urban channel of the Ria and coast of Campeche, Mexico. *Science of the Total Environment*, 672, 97–105.
- Resendez-Medina, A. (1973). Estudio de los peces de la Laguna de Alvarado, Veracruz, México. *A. Revta. Soc. Mex. Hist. Nat.* 31,183-281.
- Ritchie, H. y Roser, M. (2018). Plastic pollution. *Our World in Data*.
- Rivas, M. y Garelli, O. (2021). Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y patrimonio biocultural de México. Heinrich-Böll-Stiftung - Ciudad de México, México y el Caribe. (s/f). Heinrich-Böll-Stiftung. Recuperado el 7 de abril de 2022, de <https://mx.boell.org/es/2021/03/10/impacto-de-la-contaminacion-por-plasticos-en-la-biodiversidad-y-patrimonio-biocultural>
- Rochman, C.M., Hoh E., Hentschel B.T. y Kaye, S. (2013). Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris. *Environmental science & technology*, 47(3), 1646–1654.
- Ruiz-Fernandez, A.C. (2014). Chronology of recent sedimentation and geochemical characteristics of sediments in Alvarado Lagoon, Veracruz (southwestern Gulf of Mexico). *Ciencias Marinas*, 40(4), 291 - 303.
- Ruiz-Fernández, A.C. (2014). Chronology of recent sedimentation and geochemical characteristics of sediments in Alvarado Lagoon, Veracruz (southwestern Gulf of Mexico). *Ciencias Marinas*, 40(4), 291–303. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2473>.
- Ryan, P. G., De Bruyn, P. N., & Bester, M. N. (2016). Regional differences in plastic ingestion among Southern Ocean fur seals and albatrosses. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1-2), 207-210.
- Sánchez-Hernández, L.J., Ramírez-Romero P., Rodríguez-González F., Ramos-Sánchez V.H., Montes R.A.M., Rubio H.R.P., Sujitha S.B. y 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.
- Schlining, K., Von Thun S., Kuhn L., Schlinin B., Lundsten, L., Stout N. J., Chaney L., y Connor J. (2013). Debris in the deep: Using a 22-year video annotation database to survey marine litter in Monterey Canyon, central California, USA. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, (79), 96 - 105.
- Segura, D., Noguez, R., y Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(3), 361-372.
- Segura, L.M.S. y Arriaga J.A.L. (2003). Principios básicos de contaminación ambiental. *UAEM*, 8-13.
- Shimao, M. (2001). Biodegradation of plastics. *Current opinion in biotechnology*, 12(3), 242 - 247.
- Shruti, V.C., Jonathan M.P., Rodriguez-Espinosa P.F. y Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin (654), 154 - 163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.054>
- SISR.(2004) Servicios de informacion sobre sitios Ramsar: Sistema Lagunar Alvarado. Suiza. La secretaria de la convención de Ramsar. Disponible en:

- <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1355?language=es>, version (01/2022).
- Su, L., Deng H., Li, B., Chen Q., Pettigrove V., Wu C y Shi, H. (2019). The occurrence of microplastic in specific organs in commercially caught fishes from coast and estuary area of east China. *Journal of hazardous materials*, 365, 716-724.
- Thevenon, F., Carroll C. and J, Sousa (2014). Plastic debris in the ocean: the characterization of marine plastics and their environmental impacts, situation analysis report. Gland, Switzerland: IUCN. ISBN: 978-2-8317-1696-1, DOI: 10.2305/IUCN.CH.2014.03.
- Thevenon, F., Carroll C. y Sousa J. (2014). Plastic debris in the ocean: The characterization of marine plastics and their environmental impacts, situation analysis report. Gland, Switzerland: IUCN, 52.
- Thiel, M., Hinojosa I.A., Miranda L., Pantoja J.F., Rivadeneira M.M. y Vásquez, N. (2013). Anthropogenic marine debris in the coastal environment: a multi-year comparison between coastal waters and local shores. *Marine pollution bulletin*, 71(1-2), 307 - 316.
- Thompson, R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W., McGonigle D. y Russell A.E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838 - 838.
- Thompson, R.C., Olsen Y., Mitchell R.P., Davis A., Rowland S.J., John A.W.G., McGonigle D. and Russell A.E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838 - 838. Doi:10.1126/science.1094559.
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838.
- Timmis, K. y Ramos J.L. (2021). The soil crisis: The need to treat as a global health problem and the pivotal role of microbes in prophylaxis and therapy. En *Microbial Biotechnology*, Wiley Online Library, (14):3. 769 - 797..
- Tolba, M.K. (1992). Contaminación marina. En M.K. Tolba (Ed.), *Salvemos El Planeta: Problemas y Esperanzas*. Springer Netherlands. pp. 33 - 44. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2286-3_4
- Torres-Orozco, R.E. y Pérez-Hernández M.A. (2011). Los peces de México: Una riqueza amenazada. *Revista Digital Universitaria*, 12(1), 1-15.
- UNEP. (2016). Marine plastic debris and microplastics—global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme.
- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental pollution*, 193, 65-70.
- Veerasingam, S., Saha M., Suneel V., Vethamony P., Rodrigues A.C., Bhattacharyya S., y Naik B.G. (2016). Characteristics, seasonal distribution and surface degradation features of microplastic pellets along the Goa coast, India. *Chemosphere*, 159, 496 - 505.
- Vermaire, J.C., Pomeroy C., Herczegh S.M., Haggart O., Murphy, M. (2017). Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *FACETS* 2, 301 - 314. En <https://www.facetsjournal.com/doi/10.1139/facets-2016-0070>
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: first observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54–61.
- Villalobos, F. A., Gómez, S., Arenas, V., Cabrera, J., De la Lanza, G., & Manrique, F. (1975). Estudios hidrobiológicos en la Laguna de Alvarado (Febrero–Agosto 1966) *Anales del Instituto de*

Biología. *Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología (1)*, 1-34.

- Wagner M., Scherer C., Alvarez-Muñoz D., Brennholt N., Bourrain X., Buchinger S., et al. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1): 12.
- Waller, C.L., Griffiths H.J., Waluda C.M., Thorpe S.E., Loaiza I., Moreno B., Pacherres O.C. and Hughes K.A. (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research. *Science of the total environment*, 598, 220 - 227.
- Wang, J., Peng J., Ta Z., Gao, Y., Zhan Z., Chen Q., Cai, L. (2017). Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. *Chemosphere* 171, 248 - 258.
- Wessel, C.C., Lockridge G.R., Battiste D. y Cebrian J. (2016). Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 178 - 183.
- Wright, R.J., Erni-Cassola G., Zadjelovic V., Latva M. and Christie-Oleza J.A. (2020). Marine Plastic Debris: A New Surface for Microbial Colonization. *Environmental Science & Technology*, (54) 11657-11672. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c02305>
- Xiong, X., Zhang K., Chen X., Shi H., Luo Z. y Wu C. (2018). Sources and distribution of microplastics in China's largest inland lake—Qinghai Lake. *Environmental pollution*, 235, 899 - 900.
- Yang, G., Jian, S.Q., Cao, H., Wen, C., Hu, B., Peng, M., Peng, L., Yuan, J., Liang, L., 2019. Changes in microbiota along the intestine of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): community, interspecific interactions, and functions. *Aquaculture* 498, 151–161.
- Yuan, J., Ma J., Sun Y., Zhou T., Zhao, Y. y Yu, F. (2020). Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *Science of the Total Environment*, 715, 136968.
- Zamprogno, G.C., Canicali F.B., dos Reis Cozer C., Otegui M.B.P., Graceli J.B. y da Costa M.B. (2021). Spatial distribution of microplastics in the superficial sediment of a mangrove in Southeast Brazil: A comparison between fringe and basin. *Science of The Total Environment*, 784, 146963.
- Zeng, E.Y. (2018). *Microplastic contamination in aquatic environments: An emerging matter of environmental urgency*. Elsevier.
- Zettler, E.R., Mincer T.J. y Amaral-Zettler L.A. (2013). Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environmental science & technology*, 47(13), 7137 - 7146.