



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
DE SAN ANDRÉS TUXTLA**



**TITULACIÓN INTEGRAL**

**TESIS PROFESIONAL**

**“EVIDENCIACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN  
AGUA, SEDIMENTO Y TRACTO DIGESTIVO DE TILAPIA  
(Oreochromis aureus) PROVENIENTE DE LA LAGUNA DE  
CATEMACO, VERACRUZ”**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**JESSICA BEATRIZ RUIZ SERRANO**

**ASESOR:**

**M.C. SOLEDAD ESTHER MALDONADO BRAVO**

**SAN ANDRÉS TUXTLA, MARZO DE 2021**



## FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Lugar: San Andrés Tuxtla, Veracruz Fecha: 08/03/2021  
 Asunto: Liberación de proyecto para la Titulación integral.

LIC. GERMÁN VENTURA TENORIO  
 Jefe del Departamento de Estudios Profesionales del ITSSAT


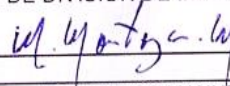

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado:	RUIZ SERRANO JESSICA BEATRIZ
Carrera:	INGENIERÍA AMBIENTAL
No. de Control:	151U0352
Nombre del Proyecto:	EVIDENCIACION DE LA PRESENCIA DE MICROPLASTICOS EN AGUA, SEDIMENTO Y TRACTO DIGESTIVO DE TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS) PROVENIENTE DE LA LAGUNA DE CATEMACO, VERACRUZ
Producto:	1.-TESIS PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

JESSICA ALEJANDRA REYES LARIOS  
 JEFE DE DIVISIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL

 M.C.I.B. SOLEDAD ESTHER MALDONADO BRAVO	 I.Q. CARLOS MANUEL MONTOYA NAFARRATE	 I. AGR. ERASTO DEL ANGEL PEREZ
Nombre y firma del asesor	Nombre y firma del revisor*	Nombre y firma del revisor*

\* Solo aplica para el caso de tesis o tesina.

Carr. Costera del Golfo S/N, KM 140+100  
 Loc. Matacapán, Mpio, San Andrés Tuxtla, Ver.  
 C.P. 95804 A.P. 110  
 Tel: 01(294)9479100 ext. 131  
 9479107



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SAN ANDRÉS TUXTLA  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS PROFESIONALES



## Autorización de Impresión para Titulación Integral

San Andrés Tuxtla, Ver. 08 de marzo del 2021

OPCION: 1.-TESIS PROFESIONAL

### INTEGRANTES

Nombre del Estudiante	No. de Control	Carrera	Plan de Estudios
RUIZ SERRANO JESSICA BEATRIZ	151U0352	INGENIERÍA AMBIENTAL	IAMB-2010-206

De acuerdo con el Reglamento de Titulación Vigente y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo a su trabajo profesional para la obtención del título a nivel licenciatura, comunico a Usted que este departamento concede la autorización para que proceda a la impresión del proyecto denominado:

## "EVIDENCIACION DE LA PRESENCIA DE MICROPLASTICOS EN AGUA, SEDIMENTO Y TRACTO DIGESTIVO DE TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS) PROVENIENTE DE LA LAGUNA DE CATEMACO, VERACRUZ"

Atentamente

  
LIC. GERMAN VENTURA TENORIO  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Carr. Costera del Golfo S/N, KM 140+100  
Loc. Matcapan, Mpio, San Andrés Tuxtla, Ver.  
C.P. 95804 A.P. 110  
Tel: 01(294) 94 79100 ext. 222  
9479107

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico Superior de San Andrés Tuxtla por formarme como profesional, a mis maestros por brindarme su conocimiento, amistad y motivación, en especial a los docentes que conforman la academia de Ingeniería Ambiental de los cuales adquirí un aprendizaje en cada una de sus materias impartidas y me dieron las herramientas necesarias para aplicarlo en el ambiente laboral.

A mi asesor interno M.C. Soledad E. Maldonado Bravo por guiarme en el proceso de elaboración del proyecto, por su amistad y dedicación con sus alumnos al impartir sus clases.

Doy gracias a Dios por haberme permitido estudiar y concluir la carrera que me gusta y motiva, y espero esté conmigo en la travesía de este camino que aún me falta por conocer.

Por último, pero no menos importante a mi madre por darme la oportunidad de seguir estudiando, a pesar de las carencias; gracias por tu esfuerzo en el trabajo, por aguantar el cansancio, por ser padre y madre al mismo tiempo, por tu apoyo incondicional en conjunto con mis tíos y abuelos que siempre estuvieron conmigo cuando más los necesitaba y me permitieron llegar hasta la universidad y concluirla, espero algún día pagarles por todo lo que hicieron por mí y mis hermanas

## ÍNDICE

FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO .....	I
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
ÍNDICE .....	IV
LISTA DE FIGURAS .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I (GENERALIDADES).....</b>	<b>2</b>
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
3. OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS).....	5
4. JUSTIFICACIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO II (FUNDAMENTOS TEÓRICOS).....</b>	<b>7</b>
1. ANTECEDENTES TEÓRICOS .....	8
1.1 HISTORIA Y TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO .....	8
1.2 DEFINICIÓN DE PLÁSTICO .....	13
1.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS .....	14
1.4 DESVENTAJAS DE LOS PLÁSTICOS .....	14
1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS .....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA .....	17
2.2 MANEJO DE RESIDUOS EN MÉXICO .....	19
2.3 DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS .....	20
2.4 DEFINICIÓN DE MICROPLÁSTICO .....	23
2.4.1 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS .....	24
2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS.....	25
2.4.3 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS .....	25
2.4.3.1 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN AGUA.....	26
2.4.3.2 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTO .....	27
2.4.3.3 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE PECES .....	29
2.5 IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS .....	30
2.6 PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE .....	31
2.6.1 LOS SEDIMENTOS COMO RECEPTORES DE MICROPLÁSTICOS.....	33
2.6.2 MICROPLÁSTICOS EN AMBIENTES ACUÁTICOS .....	37
2.6.3 MICROPLÁSTICOS EN EL AIRE.....	40
2.7 IMPACTOS REGISTRADOS POR MICROPLÁSTICOS EN DIFERENTES ORGANISMOS .....	42
2.8 ESTUDIOS SOBRE PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE PECES.....	48
2.9 MICROPLÁSTICOS A TRAVÉS DE LA CADENA TRÓFICA .....	50
2.10 TOXICOLOGÍA DEL PLÁSTICO .....	52
2.11 IMPACTO DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LA SALUD HUMANA.....	53
2.12 MEDIDAS ADOPTADAS PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS PLÁSTICOS. ....	54
2.13 DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE TILAPIA ( <i>OREOCHROMIS AUREUS</i> ). ....	56
3. MARCO CONCEPTUAL .....	58

<b>CAPÍTULO III (METODOLOGÍA)</b> .....	<b>60</b>
1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	61
2. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS .....	63
3. MUESTREO DE AGUA.....	63
3.1 PUNTOS DE MUESTREO .....	63
3.3 MÉTODO DE MUESTREO.....	66
3.4 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....	67
4. ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN AGUA .....	70
4.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS.....	70
4.2 PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA .....	70
4.3 CONTEO E IDENTIFICACIÓN VISUAL DE MICROPLÁSTICOS.....	71
4.4 PROTOCOLO DE PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN .....	72
4.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA.....	73
4.5.1 MATERIALES, INSTRUMENTOS Y REACTIVOS .....	73
4.5.2 DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD.....	73
4.5.3 DETERMINACIÓN DE COLOR VERDADERO Y COLOR APARENTE DEL AGUA .....	74
4.5.4 DETERMINACIÓN DE NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	75
4.5.5 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	76
4.5.6 DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) .....	77
4.5.7 DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ .....	78
5. MUESTREO DE SEDIMENTO .....	79
5.1 PUNTOS DE MUESTREO .....	79
5.2 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....	81
6. ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTO .....	83
6.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS.....	83
6.2 PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA .....	84
6.3 ELIMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA .....	85
6.4 CONTEO E IDENTIFICACIÓN VISUAL DE MICROPLÁSTICOS.....	87
7. ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS).....	91
7.1 OBTENCIÓN DE EJEMPLARES DE TILAPIA .....	91
7.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN BIOLÓGICA.....	91
7.3 EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL TRACTO DIGESTIVO.....	92
7.4 OBSERVACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS .....	94
<b>CAPÍTULO IV (PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS)</b> .....	<b>96</b>
1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO .....	97
1.1 OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA MUESTRAS DE SEDIMENTO .....	97
1.1.1 PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020) .....	98
1.1.2 SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020) .....	101
1.1.3 PRESENCIA DE MACROPLÁSTICOS EN LAS MUESTRAS.....	103
1.2 OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA MUESTRAS DE AGUA .....	106
1.2.1 PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020) .....	107
1.2.2 SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020) .....	108
1.2.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA. ....	109
1.3 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN BIOLÓGICA DE TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS).....	113
2. RESULTADOS.....	114
2.1 MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020) .....	114

2.2 MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020).....	124
2.3 MICROPLÁSTICOS EN AGUA PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020).....	133
2.4 MICROPLÁSTICOS EN AGUA SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020) .....	137
2.5 MICROPLÁSTICOS EN TILAPIA ( <i>OREOCHROMIS AUREUS</i> ) PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020). .....	140
2.6 MICROPLÁSTICOS EN TILAPIA ( <i>OREOCHROMIS AUREUS</i> ) SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020).....	146
3. CONCLUSIONES.....	147
RECOMENDACIONES.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	150

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS DE ACUERDO CON SU ESTRUCTURA MOLECULAR CON ALGUNOS EJEMPLOS.....	16
FIG. 2 PRINCIPALES FUENTES DE MICROPLÁSTICOS.....	18
FIG. 3 FRACTURA DE LA ESTRUCTURA PLÁSTICA DEBIDO A UN ESFUERZO MECÁNICO .....	21
FIG. 4 DEGRADACIÓN DE PE PRODUCIDO POR (GALLERIA MOLLONELLA). .....	23
FIG. 5 CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TAMAÑOS DE PLÁSTICOS .....	24
FIG. 6 A) PELLETS, B) MICROPLÁSTICOS SECUNDARIOS, C) PE USADO EN CREMAS DENTALES, D) MICROESFERAS PARA DAR BRILLO Y RELLENO A PRODUCTOS DE CUIDADO PERSONAL .....	24
FIG. 7 DISEÑO DEL MUESTREO EN AGUAS MARINAS SUPERFICIALES .....	27
FIG. 8 MICRO PERLAS AISLADAS DE COSMÉTICOS VISUALIZADO EN UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO. ....	30
FIG. 9 ISLAS DE BASURA LOCALIZADO EN LOS GIROS OCEÁNICOS. ....	32
FIG. 10 FRAGMENTOS MICROPLÁSTICOS EN LA ORILLA DE UNA PLAYA. ....	33
FIG. 11 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE PLÁSTICOS.....	35
FIG. 12 PELLETS DE COLOR AZUL, AMARILLO Y GRIS CON DIFERENTES GRADOS DE DECOLORACIÓN A. SITIOS DE DEGRADACIÓN PREFERENCIAL. B. ADHERENCIAS. C. SUPERFICIE RETICULADA. D. DESCAMACIÓN Y FIBRAS. E. SUPERFICIE EROSIONADA. ..	36
FIG. 13 UNA VISIÓN MUNDIAL DE LAS UBICACIONES Y EL AÑO EN LA QUE SE REGISTRARON MICROPLÁSTICOS EN MUESTRAS DE SEDIMENTO. ....	37
FIG. 14 DIFERENTES RESIDUOS MICROPLÁSTICOS FLOTANDO EN EL MAR. ....	38
FIG. 15 FRAGMENTO DE PLÁSTICOS DURO (A), PELÍCULA (B), ASTILLAS DE PINTURA (C), FIBRAS (D Y F) Y HEBRAS (E) RECOGIDAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL OESTE OCEANO ATLÁNTICO TROPICAL. ....	39
FIG. 16 (A) Y (B) MUESTRAN EJEMPLOS DE FRAGMENTOS SECUNDARIOS SECUNDARIA ENCONTRADOS EN EL MUESTREO DE LA RED MANTA, (C) Y (D) MUESTRAN EJEMPLOS DE PARTÍCULAS DE PLÁSTICO RECUPERADOS DE SEDIMENTOS. ....	40
FIG. 17 RESIDUOS MICROPLÁSTICOS OBSERVADOS EN LAS MUESTRAS DE LLUVIA. ....	41
FIG. 18 AVE MARINA EN PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN CON MICROPLÁSTICOS EN EL ESTÓMAGO.....	43
FIG. 19 INGESTIÓN DE PLÁSTICO POR FULMARES DEL NORTE (FULMAREUS GLACIALIS). ESTOMAGO SIN ABRIR CON PLÁSTICO DENTRO (ARRIBA), INDIVIDUO MASTICANDO UN FRAGMENTO DE PLÁSTICO (ABAJO A LA IZQUIERDA), CONTENIDO ESTOMACAL CON FRAGMENTOS, ESPUMA, LÁMINAS Y MADERA. ....	44
FIG. 20 FRAGMENTOS DE PE COLOR AZUL COMPARADO CON COPÉPODOS AZULES. ....	45
FIG. 21 LARVA DE (PERCA FLUVIATILIS) CON FRAGMENTOS MICROPLÁSTICOS EN SU APARATO DIGESTIVO.....	46
FIG. 22 EJEMPLO DE MICROPLÁSTICOS INGERIDOS POR (GALEUS MELASTOMUS). DERECHA: FILAMENTO DE MICROPLÁSTICO; IZQUIERDA: PARTÍCULAS DE MICROPLÁSTICOS.....	47
FIG. 23 MICROPLÁSTICO DE PS EN BRANQUIA, HÍGADO E INTESTINO DEL PEZ CEBRA. ....	47
FIG. 24 FRAGMENTOS MICROPLÁSTICOS EN ESTÓMAGO DE LISA (MUGIL CEPHALUS). ....	48
FIG. 25 INTERACCIÓN DE LOS MICRO PLÁSTICOS EN LOS DIFERENTES NIVELES TRÓFICOS .....	51
FIG. 26 INDIVIDUO DE TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS). ....	57
FIG. 27 DIFERENCIA SEXUAL DE LA TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS). ....	57
FIG. 28 MAPA DEL MUNICIPIO DE CATEMACO Y SUS LOCALIDADES .....	62
FIG. 29 UBICACIÓN SATELITAL DE LOS PUNTOS CORRESPONDIENTE AL PRIMER MUESTREO.....	65
FIG. 30 UBICACIÓN SATELITAL DE LOS PUNTOS CORRESPONDIENTE AL SEGUNDO MUESTREO. ....	65
FIG. 31 RED ELABORADA PARA EL MUESTREO DE MICROPLÁSTICOS EN AGUA. ....	66
FIG. 32 ARRASTRE DE LA RED EN LÍNEA RECTA PARA LA OBTENCIÓN DE LA MUESTRA. ....	67
FIG. 33 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA PARA ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS. ....	68
FIG. 34 RECUPERACIÓN Y ENJUAGADO DE LA RED. ....	68
FIG. 35 EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA DEPOSITADA EN EL COLECTOR. ....	69
FIG. 36 MUESTRA DE AGUA TAMIZADA Y LIMPIA DE RESIDUOS ORGÁNICOS GRANDES.....	70
FIG. 37 A) EXTRACCIÓN DE PARTÍCULAS CON PINZAS, B) OBSERVACIÓN CON AYUDA DE LA LUPA DE 10X Y 5x.....	71
FIG. 38 SEPARACIÓN DE FRAGMENTOS MICROPLÁSTICOS A) FIBRAS, B) ESPUMA Y PELÍCULAS, C) FRAGMENTOS. ....	72
FIG. 39 CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR PORTÁTIL DE HANNA INSTRUMENTS. ....	74



FIG. 40 A) ANÁLISIS DE COLOR VERDADERO, B) FOTÓMETRO MULTIPARAMÉTRICO DANDO LECTURA DE COLOR VERDADERO.....	75
FIG. 41 COMPARACIÓN DE LA MUESTRA CON LA ESCALA DE COLOR.....	76
FIG. 42 COMPARACIÓN DE LA MUESTRA CON LA ESCALA DE COLOR DE FOSFATOS.....	76
FIG. 43 COLORACIÓN DE LA MUESTRA AL SER AÑADIDA LA GOTTA DE REACTIVO INDICADOR.....	77
FIG. 44 SOLUCIONES ESTÁNDARES DE CALIBRACIÓN DE TURBIDEZ.....	78
FIG. 45 A) LLENADO DE LA CELDA CON LA MUESTRA, B) LIMPIEZA DE LA CELDA, C) COLOCADO DE LA CELDA EN EL EQUIPO Y D) LECTURA DE LA MUESTRA.....	79
FIG. 46 PUNTOS CORRESPONDIENTES AL PRIMER MUESTREO.....	80
FIG. 47 PUNTOS CORRESPONDIENTES AL SEGUNDO MUESTREO.....	81
FIG. 48 MARCO DE MADERA COLOCADO EN UN PUNTO DE MUESTREO.....	81
FIG. 49 RECOLECCIÓN DE MUESTRA DENTRO DEL MARCO DE MADERA.....	82
FIG. 50 AVISTAMIENTO DE RESIDUOS QUE SE ENCUENTRAN CERCA DE LA ORILLA DE LA LAGUNA DE CATEMACO.....	83
FIG. 51 TAMIZADO DE LAS MUESTRAS CON LA MALLA DE 5 MM.....	84
FIG. 52 A) DISMINUCIÓN DE LA MUESTRA POR MÉTODO DE CUARTEO, B) SECADO DE LA MUESTRA.....	85
FIG. 53 A) Y B) PESADO DE LA MUESTRA.....	86
FIG. 54 A) ADICIÓN DE H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , B) OXIDACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	86
FIG. 55 AGITACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA.....	87
FIG. 56 A) ADICIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA, B) AGITACIÓN DE LA MUESTRA.....	88
FIG. 57 A) MUESTRAS REPOSADAS, B) MICROPLÁSTICOS FLOTANDO EN LA SUPERFICIE.....	88
FIG. 58 A) FILTRACIÓN DE LA MUESTRA, B) EXTRACCIÓN DE MICROPLÁSTICOS.....	89
FIG. 59 COLOCACIÓN DE SEDIMENTO EN CHAROLAS DE ALUMINIO PARA SU OBSERVACIÓN.....	89
FIG. 60 A) CONTEO Y MEDICIÓN DE LAS PARTÍCULAS, B) SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS.....	90
FIG. 61 TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS).....	91
FIG. 62 A) MEDICIÓN Y B) PESAJE DE TILAPIA (OREOCHROMIS AUREUS).....	92
FIG. 63 A) DISECCIÓN DE LA TILAPIA, B) EXTRACCIÓN DE LOS ÓRGANOS INTERNOS.....	92
FIG. 64 TRATAMIENTO DE LOS ÓRGANOS INTERNOS CON NAOH AL 10%.....	93
FIG. 65 TAMIZADO DE LOS RESTOS DE MATERIA ORGÁNICA.....	94
FIG. 66 A) OBSERVACIÓN DE LA MUESTRA CON MICROSCOPIO ÓPTICO, B) FIBRA ENCONTRADA EN MUESTRA.....	95
FIG. 67 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 1, B) MUESTRA 2.....	98
FIG. 68 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 4, B) MUESTRA 6.....	99
FIG. 69 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 7, B) MUESTRA 8.....	99
FIG. 70 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 10, B) MUESTRA 11, C) MUESTRA 12.....	100
FIG. 71 A) DESAGÜE DEL ALCANTARILLADO PÚBLICO, B) RESIDUOS A LA ORILLA DE LA LAGUNA.....	100
FIG. 72 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 2, B) MUESTRA 3.....	101
FIG. 73 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 5, B) MUESTRA 6.....	101
FIG. 74 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 7, B) MUESTRA 8.....	102
FIG. 75 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 10, B) MUESTRA 11 Y C) MUESTRA 12.....	103
FIG. 76 MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 7, B) MUESTRA 8 Y C) MUESTRA 9.....	103
FIG. 77 MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA MUESTRA 12.....	104
FIG. 78 MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 3, B) MUESTRA 9 Y C) MUESTRA 9.....	104
FIG. 79 MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 10 Y B) MUESTRA 11.....	105
FIG. 80 MACROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA MUESTRA 12.....	105
FIG. 81 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 1 Y B) MUESTRA 2.....	108
FIG. 82 MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN LA A) MUESTRA 1 Y B) MUESTRA 2.....	109
FIG. 83 GRÁFICO DE RESULTADOS PARA A) PESO TOTAL, B) PORCENTAJE DE COLOR, C) TIPO DE MICROPLÁSTICO Y D) PORCENTAJE DE TAMAÑO ENCONTRADOS EN TOTAL.....	115
FIG. 84 GRÁFICO DE RESULTADOS PARA A) PESO TOTAL, B) PORCENTAJE DE COLOR, C) TIPO DE MICROPLÁSTICO Y D) PORCENTAJE DE TAMAÑO ENCONTRADOS EN LA MUESTRA 1.....	116



FIG. 111 GRÁFICO DE RESULTADOS PARA A) PESO TOTAL, B) PORCENTAJE DE COLOR, C) TIPO DE MICROPLÁSTICO Y D) PORCENTAJE DE TAMAÑO ENCONTRADOS EN LA MUESTRA 2. ....	140
FIG. 112 FOTOGRAFÍA DE A), B) Y C) FIBRAS DELGADAS Y LARGAS DE COLOR NEGRO, B) FIBRA CORTA DE COLOR ROJO OBSERVADO A TRAVÉS DEL MICROSCOPIO. ....	141
FIG. 113 FOTOGRAFÍA DE A) FIBRAS DELGADAS DE COLOR NEGRO, B) Y C) FIBRAS DE COLOR CELESTE OBSERVADO A TRAVÉS DEL MICROSCOPIO. ....	142
FIG. 114 FOTOGRAFÍA DE A) FIBRA LARGA DE COLOR AZUL, B) FIBRA DE COLOR NEGRO, C) Y D) FIBRAS DE COLOR ROJO OBSERVADO A TRAVÉS DEL MICROSCOPIO. ....	143
FIG. 115 FOTOGRAFÍA DE A) Y B) FIBRAS CORTAS DE COLOR ROJO OBSERVADO A TRAVÉS DEL MICROSCOPIO. ....	143
FIG. 116 FOTOGRAFÍA DE A) Y B) FIBRAS CORTAS DE COLOR ROJO Y NEGRO, C) FIBRA GRANDE Y CHICA DE COLOR AZUL Y TRES FIBRAS DE COLOR NEGRO OBSERVADO A TRAVÉS DEL MICROSCOPIO. ....	144
FIG. 117 FOTOGRAFÍA DE A) PELÍCULA TRANSPARENTE, B) FIBRA COLOR ROJO Y C) FIBRAS COLOR NEGRO OBSERVADO A TRAVÉS DEL MICROSCOPIO. ....	144
FIG. 118 FOTOGRAFÍA DE UNA FIBRA COLOR ROJO ENCONTRADA EN LA MUESTRA 4. ....	145
FIG. 119 FOTOGRAFÍA DE UNA FIBRA COLOR CELESTE ENCONTRADA EN LA MUESTRA 5.....	145
FIG. 120 FOTOGRAFÍA DE A) FIBRA COLOR AZUL Y RESTOS VEGETALES, B) FIBRA ROJA Y CELESTE, C) FIBRA COLOR ROJO ENCONTRADA EN LA MUESTRA 5. ....	146

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESTADOS QUE HAN INTRODUCIDO EN SU LEGISLACIÓN LA PROHIBICIÓN DEL USO DE ALGUNOS PRODUCTOS PLÁSTICOS. .	55
TABLA 2. UBICACIÓN SATELITAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO CORRESPONDIENTES AL PRIMER Y SEGUNDO PERIODO. ....	64
TABLA 3. MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE AGUA.....	70
TABLA 4. MATERIALES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DE AGUA. ....	73
TABLA 5. REACTIVOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DE AGUA. ....	73
TABLA 6. PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTO CORRESPONDIENTES AL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO. ....	80
TABLA 7. INSTRUMENTOS Y MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUA.....	83
TABLA 8. RESULTADOS DEL VOLUMEN Y ÁREA MUESTREADA EN SEPTIEMBRE Y NOVIEMBRE 2020. ....	107
TABLA 9. RESULTADOS DE LOS MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS EN MUESTRAS DE AGUA EN EL PRIMER Y SEGUNDO MUESTREO.	107
TABLA 10. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DEL AGUA.....	110
TABLA 11. INFORMACIÓN BIOLÓGICA DE TILAPIA PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020). ....	113
TABLA 12. INFORMACIÓN BIOLÓGICA DE TILAPIA PRIMER MUESTREO (NOVIEMBRE 2020).....	113
TABLA 13. PESO Y NÚMERO TOTAL DE LAS PARTÍCULAS ENCONTRADAS EN LAS MUESTRAS DE SEDIMENTO. ....	114
TABLA 14. PESO Y NÚMERO TOTAL DE LAS PARTÍCULAS ENCONTRADAS EN LAS MUESTRAS DE SEDIMENTO. ....	124
TABLA 15. PESO Y NÚMERO TOTAL DE LAS PARTÍCULAS ENCONTRADAS EN LAS MUESTRAS DE AGUA. ....	133
TABLA 16. PESO Y NÚMERO TOTAL DE LAS PARTÍCULAS ENCONTRADAS EN LAS MUESTRAS DE AGUA. ....	137

## RESUMEN

El presente trabajo pone en manifiesto la contaminación por residuos microplásticos que se encuentran en el sedimento, agua y tracto digestivo de Tilapia (*Oreochromis aureus*) de la laguna de Catemaco, Veracruz. Se llevó a cabo dos periodos de muestreo uno en el mes de septiembre y el segundo en el mes de noviembre del año 2020.

Las muestras de sedimento fueron pre tratadas con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30 % y analizadas mediante el método de separación por sedimentación la cual consiste en someter las muestras de arena a una solución salina saturada.

Las muestras de agua se recolectaron en 2 transectos a distancias diferentes, se obtuvieron mediante la filtración con ayuda de una malla con abertura de 1 mm que fue arrastrada a velocidad baja en línea recta.

Se obtuvieron 6 individuos de tilapia en ambos periodos de muestreo, se registró la información biológica y se extrajo el tracto digestivo con los órganos internos para su pretratamiento y análisis.

Los resultados evidenciaron la presencia de microplásticos en los tres ambientes estudiados. En el primer muestreo, el 75% de las muestras de sedimento contenían partículas plásticas encontrándose una cantidad de 122, por otro lado, el 100% de las muestras de agua tuvieron estos residuos con un total de 247 partículas y en el tracto digestivo de los 6 ejemplares visualizaron un total de 39 partículas. Con respecto al segundo muestreo de igual manera en el 75% de las muestras de sedimento se hallaron partículas sumando una cantidad de 132, en las dos muestras de agua se encontraron en total 30 partículas, mientras tanto, en los tractos digestivos no se visualizaron microplásticos.

Todas las partículas extraídas fueron observadas con lupa para su clasificación en base a seis categorías (fragmentos, fibras, astillas de pintura, pellets, microplástico espumado y películas de plástico), de acuerdo al color en rosado, blanco, verde, amarillo, azul, naranja, rojo, celeste, transparente, negro, gris, morado, café y vino.

## ABSTRACT

The present study reveals pollution by microplastic residues, which were found in the sediment, water and digestive tract of Tilapia fish (*Oreochromis aureus*) in Catemaco's Lake, Veracruz. Two sampling periods were carried out, one in September and the second in November of 2020.

The sediment samples were pre-treated with 30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and analyzed by the sedimentation separation method that consists of subjecting the sand samples to a saturated saline solution. The water samples were collected in two transects at different distances, they were obtained by filtration with help of a mesh with a 1 mm opening that was dragged at low speed in a straight line.

Six Tilapia individuals were obtained in both sampling periods, biological information was recorded and the digestive tract with internal organs was extracted for pretreatment and analysis

The results showed the presence of micro plastic in the three environments studied. In the first sampling, 75 % of the sediment samples contained plastic particles, finding an amount of 122; on the other hand, 100 % of the water samples had these residues with 247 particles. Moreover, in the digestive tract of the six individuals was visualized 39 particles. With respect to the second sampling, in the same way, in 75 % of the sediment samples, particles were found adding an amount of 132, in the two water samples a total of 30 particles were found, meanwhile, in the digestive tracts no microplastics were visualized.

All the extracted particles were observed with a magnifying glass for their classification based on six categories (fragments, fibers, paint chips, pellets, foamed microplastic and plastic films), according to the color in pink, white, green, yellow, blue, orange, red, light blue, transparent, black, gray, purple, brown, or wine.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en un mundo en donde el plástico está presente en una amplia gama de productos ofrecidos por las diferentes industrias, sin importar el giro, su extenso uso radica en las características de durabilidad, resistencia, bajo costo y versatilidad de aplicaciones.

Hoy en día, se produce una extensa cantidad de residuos plásticos dado que la mayoría son de un solo uso o de un tiempo de vida corto, el problema comienza cuando estos se convierten en basura, ya que de todos los tipos de plásticos existentes solo se recicla el PET en México y en un bajo porcentaje en comparación con lo generado.

La mayoría de estos residuos terminan en rellenos sanitarios, en tiraderos a cielo abierto o son depositados de manera incorrecta por parte de las personas debido a la falta de conciencia ambiental.

Estos residuos plásticos al ser expuestos en el medio ambiente comienzan a degradarse y fracturarse a causa del desgaste y los diferentes tipos de degradación, dando origen a los residuos denominados microplásticos, término que hace referencia a su tamaño diminuto.

La contaminación por residuos microplásticos ya se ha colocado como un problema alarmante, en diferentes países se han realizado estudios en agua, sedimento, tracto digestivo de especies acuáticas y ha comenzado a abarcar otros medios y productos como en artículos de limpieza, pasta de dientes, sal marina, bebidas, en el aire ambiente, así como en humanos en distintos órganos como los pulmones y recientemente en placenta humana. La mayoría de estos artículos reportan los hallazgos y concentraciones encontradas demostrando el agravamiento del tema.

Demostrando así el impacto producido por estos residuos es extenso, pero de manera general, altera los ecosistemas, daña a diferentes organismos provocando acumulación o muerte por obstrucción y el más preocupante es que cada vez se va abriendo camino para introducirse en la dieta humana.

# **Capítulo I**

## **(Generalidades)**



## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El plástico es uno de los materiales más utilizados en la actualidad ya que se utiliza para la fabricación de productos que utilizamos diariamente, sin embargo, también hay productos creados con la finalidad de usarse una sola vez como es el caso de productos conocidos comúnmente como desechables, otro de los casos son las envolturas, botellas contenedoras de bebidas, bolsas, entre otras.

La falta de concientización y educación ambiental por parte de la población de Catemaco y los visitantes o turistas en relación a los residuos, provoca que ejecuten acciones que son inadecuadas y promueven la generación de basura en calles lo que obstaculiza la realización de una gestión de residuos correcta por parte del municipio.

El problema empieza cuando estos residuos son transportados por el viento o corrientes fluviales a las alcantarillas provocando taponamientos, o en su caso se transportan por este medio hasta la laguna de Catemaco, ya que la inclinación del terreno favorece su traslado, en donde permanecen flotando y es posible percibirse a simple vista.

Con el paso del tiempo y por efectos de las condiciones ambientales los materiales se degradan o fracturan en pedazos más pequeños, las partículas menores a 5 mm producen afectaciones al ecosistema marino ya que hay estudios que demuestran la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de especies acuáticas, provocando su muerte, además también pueden incorporarse a la cadena trófica.

A ello se suma la falta de preocupación por parte de la autoridad del municipio y la población sobre la necesidad de recuperar la calidad del lago, aun siendo este el principal ingreso económico que se obtiene mediante la atracción turística, paseos en lancha y la pesca.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La laguna de Catemaco es un cuerpo de agua que cuenta con una extensión de 11 kilómetros de ancho por 8 kilómetros de largo alimentado por los arroyos, que descienden de la Sierra de Santa Marta y las escorrentías de la franja de cerros volcánicos, tiene un promedio de ocho metros de profundidad con un máximo de 22 metros rodeada por exuberante vegetación y asentamientos humanos, la mayor concentración de población es el municipio de Catemaco con 27,615 habitantes al año en el 2010, donde sus principales actividades productivas son la pesca de la mojarra Tilapia introducida de África, un pez tipo sardina llamado Topote, y el caracol Tegogolo y el turismo que obtienen a partir de la belleza natural del lago.

En la actualidad no se han desarrollado estudios sobre microplásticos en esa área, por tal motivo es de gran relevancia realizar un análisis de los diferentes medios en los que pueden estar incorporados como es el caso de sedimentos, agua, y tracto digestivo de peces ya que estos tres elementos interactúan en el ambiente acuático, de esta manera se evidencia o descarta la presencia de las partículas. Así mismo, para obtener información extra, se realizó una caracterización fisicoquímica, considerando la medición de parámetros relevantes en el estudio.

El objetivo principal del trabajo, es dar a conocer si hay o no existencia de partículas plásticas en los medios mencionados anteriormente con el fin de determinar una cantidad aproximada encontrada, así como su tamaño, color y forma, de igual manera se plasmará el grado de afectación y presión que ejerce el uso y desecho de residuos plásticos sobre la laguna de Catemaco y sobre todo asegurarse de que estos fragmentos no se encuentren dentro de la mojarra tilapia, aunque al consumirse se extrae su tracto digestivo que posteriormente es desechado, es alarmante conocer que este producto está provocando afectaciones directas a la Tilapia y a su vez a especies de menor tamaño como el Topote o la Pepesca que de igual forma son extraídos y consumidos por completo, provocando la acumulación de micro o nano partículas en el ser humano que con el paso de los años puede provocar graves afectaciones a la salud.

### 3. OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Evidenciar la presencia de microplásticos en el agua, sedimento y tracto digestivo de Tilapia (*Oreochromis aureus*) proveniente de la Laguna de Catemaco.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Caracterizar el agua de la laguna mediante análisis fisicoquímico.
- Obtener las muestras de agua, sedimento y de Tilapia (*Oreochromis aureus*) en dos periodos de muestreo.
- Evidenciar la presencia de microplásticos en agua, sedimento y tracto digestivo de *Tilapia (Oreochromis aureus)* mediante observación con lupa.

### 4. JUSTIFICACIÓN

La producción del plástico tuvo sus inicios a finales de siglo XIX en Estados Unidos desarrollado por John Wesley Hyatt quien sintetizó celuloide, con el fin de crear un material que sustituyera a las bolas de billar hechas de marfil debido a su elevado costo. Esta idea fue la pauta para los investigadores y científicos que comenzaron a experimentar, en 1909 Leo Hendrik Baekeland logró crear un polímero a partir de fenol y formaldehído, que fue el primer plástico sintético, conocido aún como baquelita, su gran impacto dio origen a la exploración de resinas plásticas y su posterior aplicación a prácticamente todos los campos de la industria, sin embargo, no se previeron los problemas que podría causar el uso extensivo de los productos plásticos.

En la actualidad se utilizan para fabricar y envolver muchos de los productos que compramos y consumimos, no obstante, el problema comienza cuando lo desechamos, en donde la mayoría de ellos son plásticos desechables de embalar y envasar.

El uso excesivo de productos plásticos y la falta de educación ambiental por parte de los individuos hace que se generen grandes cantidades de residuos como bolsas de plástico, materiales de embalaje de alimentos, cuerdas, botellas, entre otros, que son depositados de forma incorrecta en calles y por efectos del viento o lluvia son

trasladados hasta los cuerpos de agua, en este caso la laguna de Catemaco en donde permanecen flotando y son expuestos a condiciones ambientales dando como resultado una degradación o fragmentación convirtiéndose en microplásticos como subproductos, que trae como consecuencia afectaciones al medio ambiente en el que se encuentra.

Uno de los impactos directos es el consumo de microplásticos por parte de organismos que son eslabones principales de la cadena alimenticia y de esta forma pasan el residuo a los consumidores secundarios y terciarios, en donde también se ven afectadas otras especies como aves que consumen los organismos que se desarrollan dentro de la laguna, otro factor es su ingesta accidental ya que es confundido por comida por peces de mayor tamaño. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) la ingesta provoca a las especies acuáticas afectaciones en la fecundidad, supervivencia larvaria y su desarrollo adecuado, sin embargo, en la actualidad hay pocos estudios que demuestren la capacidad de los microplásticos para alterar los procesos ecológicos. Por ello, la realización de este proyecto es de suma importancia ya que permite conocer el grado de afectación que se produce debido a los residuos plásticos que son adquiridos y posteriormente desechados, así mismo se dará a conocer un valor estimado de la cantidad y tipos de microplásticos encontrados, en donde se espera que la población tome conciencia y se responsabilice de llevar a cabo un manejo adecuado de sus residuos.

# **Capítulo II**

## **(Fundamentos teóricos)**

## 1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

### 1.1 HISTORIA Y TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO

En épocas antiguas nuestros antepasados fabricaban sus herramientas y productos a base de elementos naturales como la madera y las piedras que poco a poco fueron transformándose en productos que facilitaban sus actividades diarias. La evolución del plástico comenzó con el uso de resinas plásticas naturales como el ámbar, asta natural, la goma laca y la gutapercha las cuales tenían diferentes aplicaciones entre las culturas, una evidencia de ellos son los antiguos egipcios que utilizaban resinas para embalsamar cuerpos y el asta natural para elaborar recipientes o artículos básicos [1].

A continuación, se menciona de manera cronológica fechas importantes que dieron origen a la producción y transformación del plástico.

1835 - Justus Von Liebig sintetiza y descubre el monómero del cloruro de vinilo, un compuesto de poca utilidad y cede su estudio Henri Victor Regnault para que experimentara con él [2].

1839 – Victor Regnault descubre la formación de un polvo blanco que dio origen al Policloruro de Vinilo (PVC), se produjo al exponer accidentalmente una porción de cloruro de vinilo al sol.

1839 – Charles Goodyear logró modificar las propiedades de la goma natural que obtenía del árbol del jebe de Brasil al mezclarla con azufre y calentarla convirtiéndolo en un material firme y moldeable, a este proceso lo bautizó como vulcanización [3].

1839 – Eduard Simon descubrió el poliestireno a partir de la destilación de una sustancia oleosa del estórax que dejó accidentalmente al aire libre, días después su producto se había convertido en una sustancia espesa y afirmaba que se debía a un proceso de oxidación y denominó a su nueva sustancia styroloxid [4], [5].

1842-1843 – El Dr. William Montgomerie y el Dr. José D'Almeida, observaron y descubrieron las propiedades del árbol Isonandra Guta, planta que produce una

resina 60% transparente, flexible y dura la cual nombraron como gutapercha, pensando que el material podría tener varias aplicaciones comerciales presentaron su descubrimiento en Royal Society of Arts en Londres sin tener ningún éxito. Más tarde con nuevas expectativas se presentaron en Royal Society Asiatic donde pudieron vender la idea a chinos y malayos que comenzaron a fabricar productos de este material, en los cuales destaca la fabricación de mangos y asas de objetos, utensilios y joyería [6].

1850 – Alexander Parkes experimentó con nitrocelulosa y alcanfor cuyo producto era una sustancia transparente, dura y flexible, nombrándolo Parkesina [7].

1866 – Pierre Eugène Marcellin Berthelot demostró que la formación del styroloxid procesado por E. Simon no se transformó por oxidación sino por un proceso de polimerización, este nuevo descubrimiento dio origen al nombre de poliestireno [5].

1868 – John Wesley Hyatt compra la patente de Alexander Parkes.

1869 – En base a la experimentación de Alexander Parkes, John Wesley Hyatt desarrolló un material plástico producido por la combinación de un nitrado de celulosa con alcanfor y alcohol, obteniendo un producto que patentó como celuloide, hecho con la finalidad de crear bolas de billar que sustituyeran a las bolas que anteriormente se hacían de marfil [8].

1872 - Eugene Baumann sin conocer los trabajos de Regnault fabricó PVC sin hacer ninguna patente de su descubrimiento [9] .

1891 – Louis-Marie Hilaire Bernigaud fue el inventor del rayón que obtuvo a partir de fibras de nitrocelulosa al hacer reaccionar la celulosa con ácido nítrico a través de un espín [5].

1900 – Dr. Henri Dreyfus creo un producto denominado acetato de celulosa un termoplástico más estable que el de Hyatt en el cual emprendió un negocio con su hermano y usaban el producto como empaques para alimentos [10].

1907 - Leo Hendrik Baekeland crea una resina rígida y poco inflamable a base de polímeros sintéticos compuesto de fenol-formaldehído al cual denominó “baquelita” [11].

1909 – Se comercializa la baquelita y se utilizaba para recubrir aparatos electrónicos.

1912 – Fritz Klatte hizo reaccionar el acetileno con HCl con producción del monómero de cloruro de vinilo (CVM) cuya polimerización fue a base de la exposición solar que tuvo el compuesto, más tarde, en 1913 recibe una patente por su invención que expiró en 1925 [9].

1920 – Herman Staudinger propuso a través de su investigación que los polímeros estaban compuestos por una larga cadena de unidades pequeñas unidas por enlaces covalentes, dándole el término de macromolécula, además que las propiedades de elasticidad y dureza son atribuibles a su elevado peso molecular. Mas tarde, en 1953 se convirtió en especialista en química de polímeros y recibió un premio Nobel por su aportación a la ciencia [12].

1926 - Waldo Semon utilizó el cloruro de vinilo que mezcló con un disolvente de alto punto de ebullición con el fin de obtener un polímero insaturado y así poder unirlo a un metal en donde produjo un material flexible, inerte y resistente [13].

1928 – La compañía Du Pont inició con un proceso de investigación cuyo objetivo era la fabricación de nuevos materiales plásticos y para ello contrató a Wallace Hume Carothers para dirigir la investigación, uno de sus primeros trabajos fue la creación del neopreno producto que consiguió al añadir HCl como estabilizador al monovinilacetileno con formación de cloropreno [14].

1930 – El Dr. Otto Bayer inventa el poliuretano [15].

1933 – Eric W. Fawcett y Reginald O. Gibson realizaban estudios sobre los efectos que podría efectuarse al exponer reacciones químicas a presiones mayores a 1000 atmósferas (atm), en uno de sus estudios utilizaron etileno con benzaldehído a una temperatura de 170°C y 1900 atm durante una noche, al día siguiente la presión había descendido a 1800 atm por lo cual sospecharon de una posible fuga, horas



después la presión volvió a 1900 atm y lo mantuvieron por 2 días más, culminado el tiempo observaron que la presión cayó más debido a la fuga y decidieron desmantelar el equipo, dentro de este se encontró en un tubo una sustancia cerosa y opaca esta fue la primera vez que se procesó y visualizó al polietileno sin saber de sus propiedades ni posibles aplicaciones en la industria [16].

1934 – Wallace Hume Carothers y su equipo lograron procesar una nueva fibra sintética flexible y resistente la cual patentaron en 1938 como Nylon un material similar a la seda, su primer mercado estuvo enfocado a la fabricación de calceterías y medias para damas [17].

1935 - M. W. Perrin y su asociado J. P. Paton realizaron una réplica del experimento hecho por Fawcett y Gibson en un laboratorio más seguro y con mejores equipos, durante el proceso notaron los mismos efectos en el descenso de la presión y esta se reajustaba a la inicial, al terminar la reacción obtuvieron un polvo blanco (polietileno) [18].

1938 – Se diseñó una planta que serviría para producir gran cantidad de polietileno[18].

1938 – Roy J. Plunkett crea accidentalmente el teflón mientras trabajaba en Du Pont en la investigación de nuevos refrigerantes, en uno de sus trabajos preparó gas de tetrafluoretileno (TFE) que almacenó en cilindros a temperaturas bajas, cuando iba a hacer uso del gas notó que el gas había desaparecido, sin embargo, el cilindro pesaba lo mismo, al abrirlo se dio cuenta de que había un polvo blanco que examinó y descubrió que se trataba de un material resistente al calor, químicamente inerte y con poca fricción superficial lo que impedía a otras sustancias adherirse a ella [19].

1939 – 1940 J. Rex Whinfield y James T. Dickson lograron condensar el ácido tereftálico y el etilenglicol para producir una fibra que nombraron y patentaron en 1941 como Tereftalato de Polietileno (PET), sin embargo, este descubrimiento no lo dieron a conocer hasta 1946 debido a que estaban en tiempos de guerra [20].

1951 - Paul Hogan y Robert Banks estudiaban formas de utilizar propileno y etileno y ver de qué manera estos gases se convirtieran en componentes de la gasolina,

mediante el uso de óxido de níquel como catalizador experimentaban con estos gases sólo que en este año decidieron utilizar una pequeña cantidad de óxido de cromo como catalizador a una combinación de polipropileno con propano, horas después observaron la formación de un polvo blanco que era polipropileno (PP). Más tarde decidieron utilizar etileno con óxido de cromo en donde obtuvieron polietileno de alta densidad (HDPE) mucho más resistente al calor y más rígido[21].

1953 – Karl Ziegler experimentó la reacción de compuestos organometálicos como el litio y el butadieno para formar catalizadores, después descubrió que los compuestos de aluminio se comportaban de manera similar ya que al combinar el aluminio con otros metales se obtienen los catalizadores que nombró con su nombre “Ziegler”, de esta forma las reacciones de polimerización se pueden controlar y las cadenas moleculares se podía procesar a diferentes longitudes. El resultado de esta investigación fue la fabricación del polietileno mediante un procedimiento de baja presión, el cual el etileno forma largas cadenas de adición con el catalizador de aluminio. Mas tarde en 1963 Ganó un premio Nobel de química que compartió con Giulio Natta [22].

1954 – G. Natta, siguiendo los trabajos que hizo su compañero Ziegler logró procesar y obtener el polipropileno [23].

1973 – La compañía Du Pont obtiene la patente del polietilentereftalato (PET) un material transparente, que actualmente utilizan como contenedor de bebidas carbonatadas y no carbonatadas cuya invención se le atribuye a Nathaniel C. Wyeth [4], [24].

A partir de estos descubrimientos que marcaron historia en la fabricación del plástico dio inicio al desarrollo de nuevas aplicaciones y tecnologías que antes era difíciles o costosas de elaborar, las propiedades de durabilidad, resistencia al calor, aislantes de electricidad, inertes, fáciles de moldear, colorear y producción a bajo costo fueron las ventajas que aprovecharon las grandes industrias para introducir estos materiales en el mercado transformados en diferentes productos como vasos, botones, platos, jarras, adornos, estatuas, juguetes, recubrimiento de aparatos electrónicos, mesas, sillas, ropa, calzado entre otros [25]. El crecimiento del

mercado se dio después de la segunda guerra mundial donde hubo una expansión a nivel industrial en la fabricación de productos de uso diarios que en años anteriores se fabricaban de madera, vidrio o marfil y se sustituyeron la mayoría de los productos por plásticos[26].

Otro de los beneficios que trajo consigo la producción de plásticos, es que gracias a este material fue posible desarrollar productos electrónicos de gran utilidad en la actualidad como son las computadoras, teléfonos celulares, equipos médicos e industriales debido a que se convirtió en el principal material que protege y recubre estos productos [27].

## 1.2 DEFINICIÓN DE PLÁSTICO

El concepto de plástico proviene de la palabra griega “plastikos” es decir que es un material susceptible de moldearse o modelar. Sin duda, este es un término general que la mayoría de las personas identifica, sin embargo, existe una variedad de plásticos con diferentes propiedades y características destinados a diversos usos y aplicaciones. En el ámbito científico es más conocido como polímeros, es decir moléculas de gran tamaño, constituidas por eslabones orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados, fundamentalmente, por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos, la unión de estos monómeros se conoce como reacción de polimerización [28].

La mayor cantidad de plásticos que se consumen en la actualidad son de origen sintético de forma que son obtenidos a partir de subproductos del petróleo (petroquímicos) por lo que su fabricación es más barata, al ser este su principal beneficio hoy en día el ser humano se ha convertido dependiente de este producto, ya que se encuentra en la mayoría de artículos domésticos, electrónicos, de higiene personal, incluso está presente en la mayoría de las diferentes industrias de manufactura que utilizan estos materiales, los ejemplos más comunes son cintas adhesivas, popotes, vasos desechables, contenedores de comida, botes, botellas de bebidas carbonatadas y no carbonatadas, vehículos de transporte, juguetes,

muebles, textiles, medicamentos, instrumentos médicos, empaques de alimentos, entre otras [29].

### 1.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS

Dentro de las principales características que conforman a los plásticos se encuentra su ligereza en comparación de otros materiales como el metal, vidrio o madera, este posee peso liviano y densidades bajas en un rango de 0.9 a 2.3 g/cm<sup>3</sup>, cabe mencionar que esta propiedad varía de acuerdo con el tipo de plástico. Otra de sus propiedades es su elasticidad dado que soporta la exposición a esfuerzos mayores que lo deforman por un momento y en la mayoría de los casos recupera su forma original, además poseen bajo coeficiente de fricción de modo que no se calientan con facilidad como lo haría un tubo de cobre al frotarse contra el piso, también se le compara que no se corroen y tienen una mayor durabilidad, de igual manera no son capaces de conducir la electricidad por lo que se le utiliza como materiales aislantes, así mismo, existen plásticos con propiedades de aislamiento térmico de forma que carece de una buena conductividad térmica que los hacen ser utilizados como mangos de utensilios de cocina, o en recipientes contenedores de bebidas calientes, en cuanto las propiedades ópticas los plásticos sin aditivos ni colorantes pueden llegar a ser muy traslúcidos como el vidrio [30].

### 1.4 DESVENTAJAS DE LOS PLÁSTICOS

A pesar de que tienen grandes propiedades y beneficios los materiales plásticos también poseen algunas desventajas esto es debido a que algunos se vuelven inservibles a temperaturas mayores de 150°C ya que pierden sus propiedades y comienzan a degradarse, por otro lado, la exposición de estos materiales a rayos ultravioletas (UV) decoloran la capa externa y lo reseca con el tiempo llegando a desprender partículas en forma de polvo de la superficie, esto es algo que comúnmente se puede observar a simple vista en maceteros expuestos por tiempos prolongados al sol. Al estar constituidos de forma sintética y producidos por derivados del petróleo cuentan con un alto grado de flamabilidad puesto que pueden incendiarse con facilidad y su combustión genera gases tóxicos que afecta la salud

humana y el medio ambiente, además uno de los problemas es que no son biodegradables y que pocos de ellos pueden reciclarse [31].

## 1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los plásticos se clasifican de manera general de las formas siguientes:

### **SEGÚN EL MONÓMERO BASE:**

**Naturales:** Polímeros cuyos monómeros son obtenidos a partir de materias primas vegetales con propiedades plásticas, como la celulosa y la gutapercha, estos fueron las primeras resinas plásticas usadas en la antigüedad.

**Sintéticos:** Elaborados mediante reacciones químicas utilizando derivados del petróleo como materia prima [32].

### **DE ACUERDO CON SUS REACCIONES QUÍMICAS:**

**Poliadición de reacción en cadena:** Es un proceso que requiere del consumo de energía ya sea mediante luz, calor, radiación o el uso de catalizadores que aceleren la reacción, en esta se combinan una gran cantidad de monómeros que dan origen a una cadena de dobles enlaces o por división de anillo sin la obtención de otros subproductos.

**Poliadición como reacción escalonada:** En esta reacción se combinan los monómeros sin obtener cadenas de dobles enlaces o separación de compuestos de bajo peso molecular y los átomos pueden cambiar de posición durante el proceso.

**Policondensación:** Proceso por el cual se originan plásticos por la acumulación de compuestos polifuncionales y durante el proceso se llegan a liberar moléculas de

**Policondensación:** Proceso por el cual se originan plásticos por la acumulación de compuestos polifuncionales y durante el proceso se llegan a liberar moléculas de agua, amoniacó u otros compuestos [33], [34].

### **DEPENDIENDO DE SU ESTRUCTURA MOLECULAR**

**Termoplásticos:** Son polímeros cuyas moléculas están colocadas de forma que esta le permite calentarse y fundirse debilitándose por un momento, de esta manera se pueden moldear fácilmente para posteriormente regresar a su estado normal sin sufrir alteraciones y puede utilizarse para fabricar un nuevo producto [35].

**Termoestables o termofijos:** Son materiales que no sufren deformaciones al ser calentados, fundidos y formados, después de este proceso se solidifican convirtiéndose en materiales rígidos que no pueden volver a fundirse de nuevo [36].

**Elastómeros:** Aquellos materiales plásticos de origen naturales o sintéticos cuya estructura está formada por una malla de pocos enlaces que les permiten estirarse hasta 30 veces su tamaño y tiene la capacidad de regresar a su estado normal sin sufrir cambios [37].

De manera general en la (Fig. 1) se presenta un esquema de la clasificación de los polímeros con algunos ejemplos.

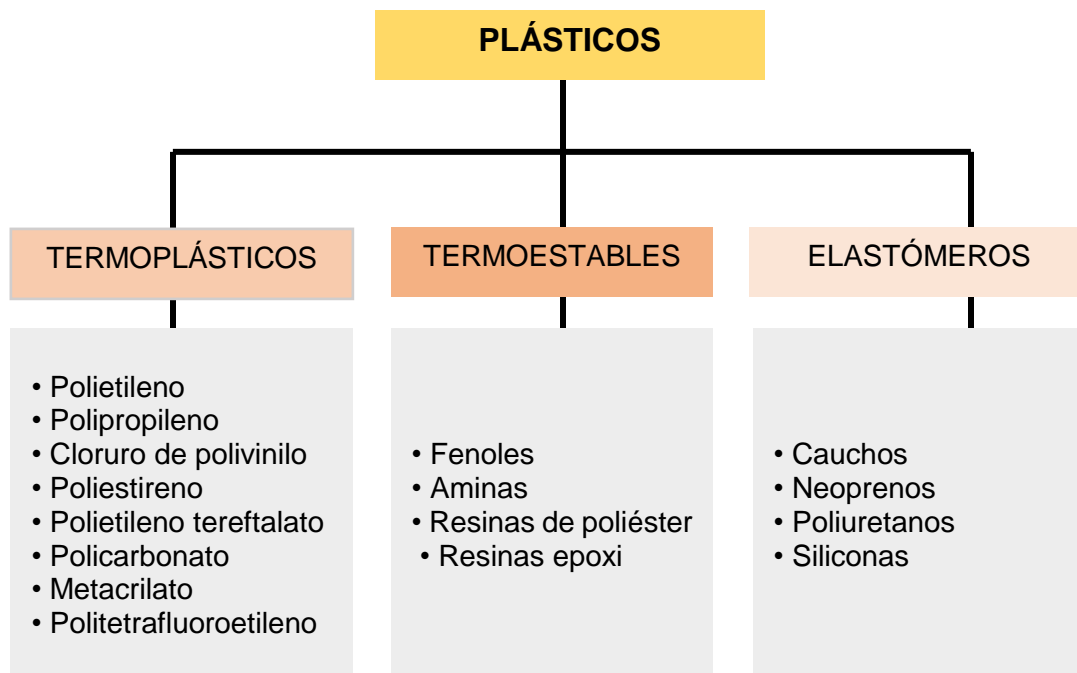


Fig. 1 Clasificación de los plásticos de acuerdo con su estructura molecular con algunos ejemplos.

Fuente: [38]

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN PLÁSTICA

Sin duda el plástico juega un papel importante en la vida diaria del ser humano debido a las ventajas que ofrece en su utilización, logrando desde sus inicios en la producción un aumento en su demanda por parte de la población, no obstante, una vez terminado su vida útil se convierte en un gran problema a nivel mundial a causa de la mala disposición de residuos por parte de la autoridad y los individuos trayendo con ello afectaciones que pueden llegar a ser irremediables con el paso de los años, además pocas empresas son las que se hacen responsables y reciclan el plástico para utilizarlos de nuevo como materia prima [39],[40] .

De manera general la fuente principal de contaminación es el sector industrial en donde se transforma la materia prima para la fabricación de nuevos productos, en el que mayoría son empaquetados en materiales plásticos, además su empleo ha ido aumentando con el paso de los años, a pesar de ello aún hay carencias sobre el manejo adecuado o reciclaje del plásticos, de tal modo que la mayor parte de ellos termina en rellenos sanitarios o incorporados en el medio ambiente [41]. También se ve implicada la mayoría de las actividades económicas, como el transporte, la agricultura, el sector turístico, la pesca y acuicultura, la (Fig. 16) muestra las principales actividades antropogénicas implicadas [42].

Otros de los factores en el que se ven involucrados la presencia de basura plástica en los diferentes ambientes naturales es la gestión de residuos, es decir, la forma de recolección e infraestructura con la que se cuenta, así como la regulación, las políticas y leyes, así mismo la densidad poblacional, la practica social y valores de cada individuo influye en su manejo ya que es el segundo generador y tiene a su disposición la forma en la cual manejará sus desechos, ya sea para reciclar, reutilizar, colocarlo en un contenedor que posteriormente serán dispuestos en rellenos sanitarios o depositarlo de manera inconsciente en cualquier lugar [43]. Esta última acción es la que afecta de forma inmediata de modo que hoy en día es muy frecuente observar contaminación plástica, donde los objetos de diferentes colores, texturas y formas pueden ser encontrados con facilidad en el suelo, agua,

colgado en árboles y desplazados por el aire, afectando en primer instancia el paisaje ya que por su característica de durabilidad y resistencia permanece en el medio ambiente por muchos años [44].

Por otro lado, las aguas residuales también aportan micropartículas proveniente de limpiadores faciales al igual que las fibras sintéticas que son removidas en el proceso del lavado de ropa y se estima que una prenda puede liberar más de 1900 fibras, incluso si el agua es tratada en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es muy difícil eliminar estas partículas ya que son hidrofóbicas y con un peso ligero que no le permite sedimentar al fondo, de manera que se mantienen flotando y finalmente son descargadas en un cuerpo de agua ocasionando repercusiones en el medio acuático [45] [46].



Fig. 2 Principales fuentes de microplásticos.  
Fuente: [47].



## 2.2 MANEJO DE RESIDUOS EN MÉXICO

En México la gestión de los residuos está regida bajo la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), documento que entró en vigor el 8 de octubre del 2003 cuyo objetivo es garantizar un ambiente sano mediante la valorización y gestión de los residuos para propiciar un desarrollo sustentable. En esta ley se estipulan lineamientos a seguir para realizar un correcto manejo de las tres clasificaciones de residuos; de manejo especial (RME), peligroso (RP) y sólidos urbanos (RSU); este último se divide en orgánicos e inorgánico [48]. Los residuos que son de más relevancia en esta investigación son los residuos sólidos urbanos (RSU) que generan los individuos, en casas habitación y en vías públicas como consecuencia del consumo diario de productos con el fin de satisfacer sus necesidades fisiológicas. En el año de 2015 se estimó una generación de RSU de 53.1 millones de toneladas en el país de México lo que equivale a 1.2 kilogramos diarios por habitante, y se prevé que esta cantidad aumente. En el año de 2012 el porcentaje de generación que obtuvo los residuos plásticos fue de 10.9 %.[49].

El manejo adecuado de los RSU comienza a partir de la generación que produce cada habitante y que posteriormente se almacena de forma temporal en los hogares o contenedores y sitios de recolección establecidos en puntos estratégicos con el fin de hacerlo eficiente y a menor costo, actualmente existen diferentes formas y rutas de recolección, sin embargo, el departamento de limpia pública manejado por el municipio es el que evalúa y determina la ruta que más le convenga. Otra estrategia para minimizar la contaminación por RSU es el barrido de las calles principales con el propósito de mantenerlas limpias [50].

Por último, los residuos son transportados a los sitios de disposición final que son sitios cuyas características reduzcan las afectaciones al medio ambiente y a la población denominados rellenos sanitarios, cuya construcción, operación, monitoreo y clausura debe acatar la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 [51], sin embargo, debido a la falta de infraestructura es muy común que se dispongan en tiraderos a cielo abierto en el cual no se lleva a cabo ningún control para evitar la contaminación del sitio. No obstante no todos los

residuos generados son trasladados al sitio de disposición final otros son enviados a plantas de reciclaje para su aprovechamiento como son el PET, vidrio, papel, cartón y metales [52], en la zona de los Tuxtlas los residuos valorizables son recolectados por personas que posteriormente venden a establecimientos que de igual forma venden a plantas recicladoras.

## **2. 3 DEGRADACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS**

Todos los materiales plásticos presentan características de durabilidad y resistencia con la diferencia de que unos poseen mayor o menor grado, esta depende del fin o uso que se le dará al producto. En años anteriores se pensaba que los plásticos se mantenían intactos por cientos y hasta miles de años, sin embargo, esa era una idea errónea. Todos los materiales sufren de degradación una vez que son utilizados y expuestos al medio ambiente y es ahí donde ocurre diferentes procesos y reacciones químicas que degradan el polímero ya sea a corto, mediano o largo plazo, el tiempo requerido tomará tanto como el producto sea capaz de tolerarlo, para ello existen diferentes mecanismos y factores que pueden propiciar la degradación, de esta forma se debilita su estructura hasta que se fragmenta [53].

De manera general la degradación del plástico se produce por la acción de diferentes mecanismos de degradación que se describe a continuación [54], [55]:

### **DEGRADACIÓN TÉRMICA**

Se lleva a cabo cuando se expone a polímeros pocos resistentes a temperaturas superiores de 100 a 200 °C por lo que pierden estabilidad y tienden a ablandarse al aumentar la temperatura, en este caso existen dos posibilidades; la primera que el plástico deformado puede volver a moldearse y al enfriarse regresa a su estado sólido, el segundo es cuando los efectos producidos son irreversibles como la alteración en su estructura liberando radicales libres como H<sub>2</sub> y CO por lo que comienza a experimentar cambios químicos en su molécula y pérdida de los plastificantes tornándose más frágil.

## **DEGRADACIÓN POR RADIACIÓN**

La degradación del plástico se lleva a cabo en aquellos objetos que son colocados o requeridos en el exterior de tal forma que la radiación UV y la luz llega de manera directa ocasionando agrietamiento del material disminución en la intensidad del color, desprendimiento de la capa superior y mayor fragilidad y posteriormente una ruptura.

## **DEGRADACIÓN MECÁNICA**

La degradación mecánica surge a partir del esfuerzo que se aplica en su uso lo que conlleva a originar fracturas y deformaciones, la afectación que se produzca dependerá del tipo de plástico y la manera en la que se aplique el esfuerzo. La (Fig. 3) ejemplifica a la degradación mecánica ejercida en un neumático.



Fig. 3 Fractura de la estructura plástica debido a un esfuerzo mecánico

Fuente: [56]

## **DEGRADACIÓN QUÍMICA**

Este proceso ocurre cuando un polímero con poca resistencia y estabilidad entra en contacto con un solvente que tiene la capacidad de disolverlo por completo, tal es el caso del poliestireno en benceno o acetona.

## BIODEGRADACIÓN

Este tipo de degradación se da por la acción de microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos que poseen enzimas capaces de asimilar, transformar, degradar y digerir ciertos polímeros afectándolo tanto física como químicamente.

Los microorganismos juegan un papel muy importante, sin embargo, son muy difíciles de hallar debido a que sólo se encuentran bajo condiciones específicas, sin embargo, a la fecha existen registros y estudios de diferentes microorganismos capaces de degradar el plástico.

En un trabajo realizado en Lima, Perú fueron capaz de aislar un consorcio bacteriano a partir de una muestra recolectada de residuos plásticos con evidencia de deterioro proveniente de un relleno sanitario, previamente fueron aisladas en medios de enriquecimientos a pH de 5.5 y 7 obteniendo 6 cepas, identificadas como (*Pseudomonas* sp.), (*Penicillium* sp.), (*Rhodotorula* sp.), (*Hyalodendron* sp.) y una levadura no identificada, posteriormente fueron colocadas en láminas de polietileno de baja densidad para determinar su potencial de degradación, después de dos semanas de exposición hubo una disminución en el peso con un porcentaje de degradación de 5.4% a pH 7 y 4.8% a pH 5.5 [57].

Otra evidencia es un estudio en España en el cual aislaron microorganismos presentes en agua de mar obtenidas del Muelle de Santa Cruz de Tenerife, haciendo pasar el agua por un filtro para que quedara retenidos y se añadieron a matraces con medio de cultivo de sales marinas, 0.1% de extracto de levadura y 0.3% de plástico granulado, en total se realizaron pruebas diferentes en cinco sustratos de plástico: Polietileno Tereftalato (PETE), Polietileno de alta (HDPE), Polietileno de baja densidad (LDPE), Poliestireno (PS) y Polipropileno (PP), tras un periodo de 32 días el PETE mostró un mayor porcentaje de degradación en comparación con los demás [58].

También se ha demostrado que otros organismos son capaces de degradar el plástico, tal es el caso de una larva del gusano de cera (*Galleria mellonella*) perteneciente a la familia Pyralidae del orden Lepidoptera, en este ensayo se

expusieron a 100 de ellas en láminas de polietileno y después de 40 minutos se comenzaron a presenciar pequeños orificios, más tarde pasado un lapso de 12 horas de exposición se evaluó una pérdida de 92 miligramos (Fig. 4) [59].

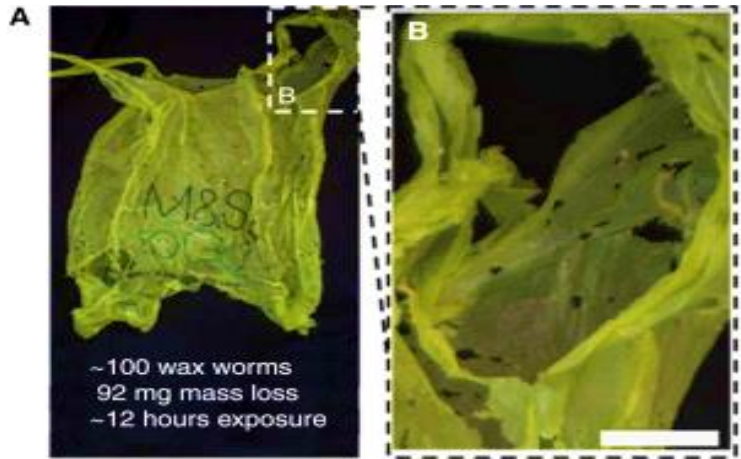


Fig. 4 Degradación de PE producido por (*Galleria mellonella*).

Fuente: [59].

#### 2.4 DEFINICIÓN DE MICROPLÁSTICO

El término microplástico no tiene una definición estandarizada y diferentes autores coinciden en que son partículas plásticas que no sobrepasan los 5 milímetros de longitud (Fig. 20), sin embargo, no todos establecen una medida mínima en el cual se sigan considerando como microplásticos [40], [60], [61], [62], [63], [64]. Este tema se discutió formalmente en el taller internacional de investigación sobre la aparición, los efectos y el destino de los desechos marinos microplásticos realizado en el año 2008 y organizado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica por sus siglas en inglés (NOAA), en dicho evento se acordó un tamaño máximo de 5 mm y mínimo de 0.01 milímetros (Fig. 5) [47], [65], asemejándose a lo mencionado por distintos investigadores [66], [67], otros intervalos manejado por otros autores como Pereiras de (1 mm a 5 mm) [41] y Peraza de (0.06 mm a 5 mm) [68].

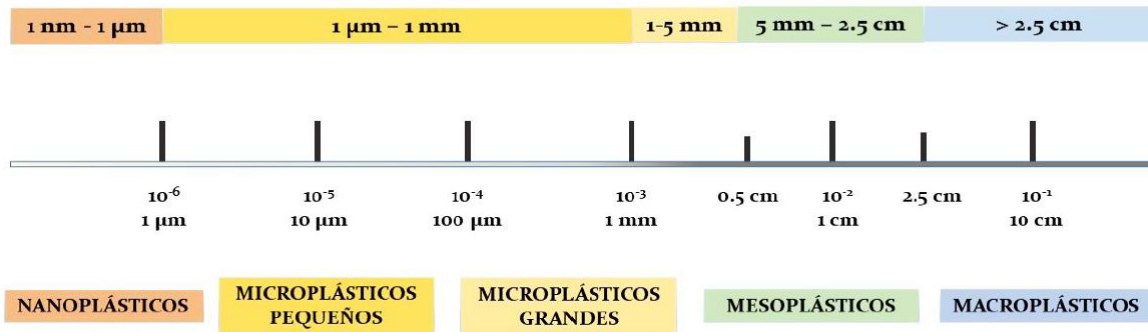


Fig. 5 Clasificación de los diferentes tamaños de plásticos  
 Fuente: [69]

### 2.4.1 ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS

El origen de los microplásticos puede ser de forma primaria, es decir productos manufacturados en forma de microesferas como los granulados, pellets, polvos, abrasivos domésticos e industriales que se añaden a cremas faciales, detriticos, exfoliantes, aerosoles (Fig. 6) de forma secundaria que está dada por plásticos de mayor tamaño que resultan en pequeños fragmentos cuando son expuestos bajo condiciones ambientales y extremas donde sufren degradación mecánica, física o química [67], [70].

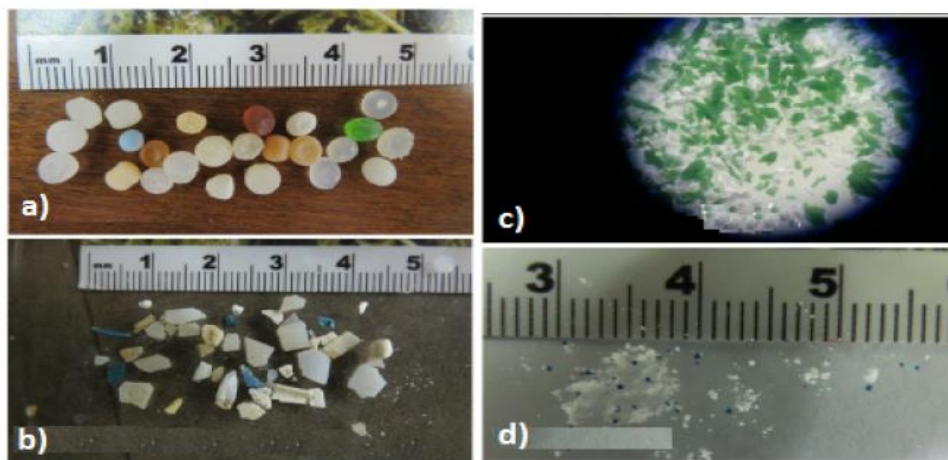


Fig. 6 a) pellets, b) microplásticos secundarios, c) PE usado en cremas dentales, d) microesferas para dar brillo y relleno a productos de cuidado personal  
 Fuente: [61].

## 2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS

Usualmente los microplásticos se clasifican por tres características cuando de su estudio se trata: tamaño color y forma.

El tamaño es una particularidad importante ya que mediante ella sabemos a qué rango de plástico pertenece y que grupo de organismo es más propenso a ser afectado. Por otro lado, la forma varía de acuerdo con su procedencia y a la clasificación otorgada por cada investigador, aunque no suele haber mucha variación, los más utilizados son: fragmentos, películas, gránulos, filamentos, espumas, fibras, pellets y otros plásticos [71], [72], [73].

Por último, tenemos al color en el cual es posible de encontrar una gama de colores diferentes, no obstante, el color puede ser distinto al original a causa de la exposición a diferentes aspectos ambientales que minoran su intensidad de color [62].

## 2.4.3 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS

Para el análisis de presencia de microplásticos no existen métodos estandarizados que puedan realizarse de igual manera en cualquier parte del mundo, por lo que a menudo suele ser difícil comparar los datos entre investigaciones, ya que el muestreo, el análisis y los factores considerados no suelen ser los mismos, además no siempre se proporcionan todos los detalles. Para análisis de agua normalmente se hace uso de redes de plancton o neuston, para sedimentos se hace una colecta manual de los residuos o mediante la recogida de arena utilizando un cuadrante o un volumen conocido y en organismos se realiza una inspección visual a través de la disección del tracto digestivo [74].

La técnica de muestreo a utilizar influye mucho en la representatividad de los datos a generar, el muestreo selectivo se basa en extraer de forma directa los microplásticos en el medio, pero solo se enfoca a aquellos que pueden ser identificados a simple vista y descarta a los de menores dimensiones. Por otro lado, el muestreo masivo consiste en tomar una muestra completa que no excluye a los diferentes tamaños de partículas, sin embargo, los volúmenes no son muy

representativos. Por último está el método por filtración que consiste en hacer pasar un volumen de agua a través de una malla lo que reduce significativamente la muestra a analizar, su ventaja es que abarca un gran volumen de agua pero también pueden haber pérdidas de fragmentos que tienen un menor tamaño al de la luz de malla utilizada [75],[76].

#### 2.4.3.1 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN AGUA

Para el análisis de microplásticos en agua varía de acuerdo con el autor y el primer aspecto a considerar es el muestreo, la literatura está más enfocada al estudio en el océano, mientras que en cuerpos de agua dulce como ríos y lagunas es muy deficiente o no hay información detallada sobre el procedimiento a seguir [77].

#### **MUESTREO**

Para la obtención de muestras existen diferentes métodos equipos y herramientas entre los que destacan el uso de red de manta, para plancton o neuston con luz de malla comprendida entre 0.053 y 0.3 mm [78], [79], [80].

Kovač sugiere el uso de una red de manta situada en un extremo de una embarcación con una cuerda que permita establecer una distancia de 3 a 4 metros y posteriormente arrastrarla durante 30 minutos a una velocidad de 2 a 3 nudos, una vez terminado el recorrido enjuagar la red por fuera para que los residuos caigan en un colector ubicado en el extremo de la red, la fracción colectada se hace pasar por un tamiz de 300  $\mu\text{m}$  y después debe ser reservado en etanol al 70% para su análisis [72], por otra parte, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica por sus siglas en inglés (NOAA) tiene un protocolo de muestreo con puntos similares a los ya descritos con anterioridad [81].

De igual manera, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) hace uso de una red de plancton o neuston con abertura de malla de 200 a 500  $\mu\text{m}$ , la diferencia es que propone el recorrido por tres transectos paralelos a la línea de costa (Fig. 7) con una separación de 20 metros entre ellos para hacer un arrastre con una duración de 15 minutos en cada línea [82].



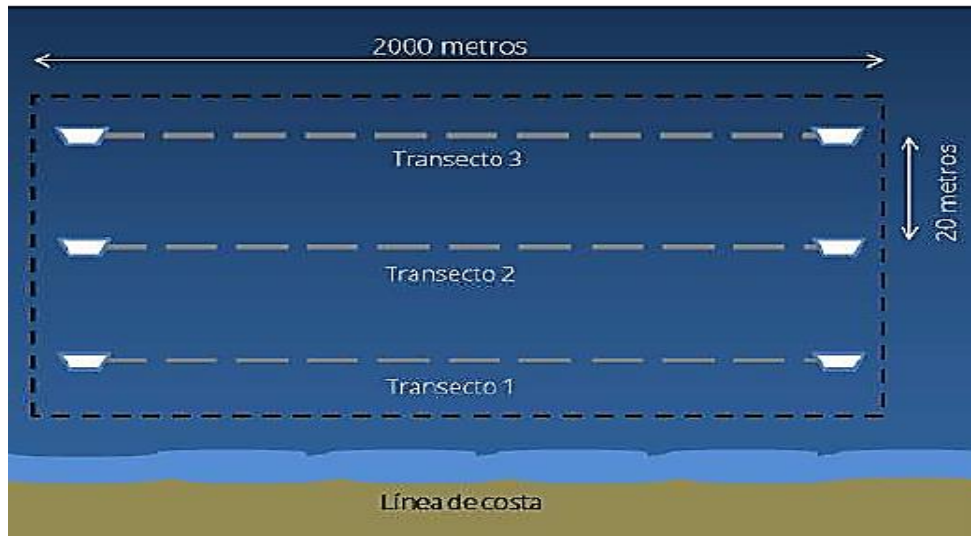


Fig. 7 Diseño del muestreo en aguas marinas superficiales  
Fuente: [82].

## ANÁLISIS

Para la determinación de microplásticos existen dos métodos generales separación por tamizado o por densidad. El primero consiste en verter la muestra a través de tamices apilados de 5 mm, 1 mm y 0.3 mm y enjuagar bien el colector con agua destilada, seguidamente transferir cada fracción retenida en un vaso de precipitado tarado y poner a secar en un horno a 90°C por 48 h, una vez seca se debe pesar en una balanza analítica, como último paso es recomendable eliminar la materia orgánica que pudiera estar presente, para ello se hace un tratamiento con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30%, para confirmar si los fragmentos son residuos plásticos se colocan en solución hipersalina [81].

El segundo se basa en tamizar la muestra en una malla de 0.03 mm y posteriormente colocar lo retenido en un recipiente de vidrio, agregar etanol al 70% y observar con el uso de un microscopio estereoscópico [72].

### 2.4.3.2 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTO

Para este estudio aún hay carencia sobre normas o métodos alrededor del mundo por lo que su ejecución es muy variable, se puede practicar en toda la playa, en el

fondo del cuerpo de agua, por zonas separadas, a lo largo de un transecto ya sea horizontal o vertical [75], [80].

## **MUESTREO**

Para la mayoría de estudios que se han realizado en sedimentos se han hecho cerca de la línea de costa y no en sedimentos profundos debido a las implicaciones y costos que genera, para ello se debe de establecer en el área de interés los transectos y número de muestras a obtener, Díaz trazó una línea de 100 metros en donde tomaba una muestra a una profundidad de 5 cm a cada 25 m de separación mediante el uso de un marco de madera de 50 cm<sup>2</sup> [83]. Otro autor hace uso de tres transectos de 30 m de largo tomando una muestra a cada 5 m [82] o simplemente recolectar muestras en puntos de interés en la zona intermareal y supralitoral [84], Hidalgo realiza de 1 a 6 transectos y en cada una de ellas estableció de 2 a 6 estaciones de 3 x 3 m cada una para tomar la muestra [71], con ayuda de un tamiz de 5 mm se retira residuos orgánicos o fragmentos plásticos de mayor tamaño y con un tamiz de 1 mm se hace pasar la fracción más fina y lo retenido en este tamiz corresponderá a la muestra [73].

## **ANÁLISIS**

Las muestras a analizar deben de estar previamente secadas en un horno y algunos autores recomiendan la adición de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 30% para eliminar la materia orgánica [85] y ácido clorhídrico (HCl) al 5% para eliminar material calizo (conchas) [77].

Para la extracción de los microplásticos normalmente se recurre a la separación por densidad al ser un método económico y práctico [80], para ello Besley en su estudio prepara una solución salina agregando 358.9 g de Cloruro de Sodio (NaCl) en 1 litro de agua desmineralizada agitándola por 48 horas a 600 rpm mientras la calentaba a una temperatura de 60 °C, colocó 100 g de muestra en 400 ml y agitó por 2 min, el sobrenadante lo filtró en un sistema de vacío mediante el uso de un filtro milipore de 0,45 µm que más adelante fueron observados en un microscopio estereoscopio [86]. Manrique también utiliza 100 g de muestra que coloca en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, la diferencia es el volumen de la solución salina que

agrega hasta que el nivel de la solución diste 1 cm de la parte superior (210–240 mL), lo cubre con un papel aluminio para agitarlo por 5 min y dejarlo reposar toda la noche, filtró al vacío en papel de filtro Whatman N° 41 y secó a 70 °C en una placa Petri cerrada para su posterior observación, [85]. Por otro lado Cabrera diluye 359 g en 2 litros de agua Milli-Q y utiliza solo 50 g de muestra en 200 ml de solución que deja reposar por 5 h y lo filtra a través de un filtro de 0.45 µm [84]. A diferencia de los anteriores Claessens solo ocupa 300 g de NaCl en 1 litro de agua destilada [87].

#### 2.4.3.3 ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE PECES

Para la obtención de los individuos de peces o cualquier organismo marino de interés algunos investigadores han optado por el uso de alguna técnica de pesca para la captura de los espécimen [88], [89] u optan por adquirirlos en establecimientos de la localidad, siempre y cuando su procedencia sea 100% confiable y del sitio de interés.

#### **ANÁLISIS**

A comparación del análisis de agua y sedimento, el análisis del tracto digestivo de peces resulta menos laborioso, primeramente se debe de lavar y tomar los datos de información biológica indispensable, como su peso, tamaño, longitud antes de comenzar con la disección [90].

Una vez hecho el procedimiento anterior se comienza con la extracción del tracto digestivo con un corte longitudinal del ano hasta la boca del pez, y se pesa en una balanza con precisión de 0.1 gramo, se retira el contenido estomacal y se agrega ya sea en alcohol al 95% de pureza [91] o agua destilada [82].

Otro proceso es la degradación del tejido mediante el almacenamiento por 2 semanas en hidróxido de sodio (NaOH) al 10 % en el que desintegrará todo el material orgánico y solo prevalecerán los fragmentos plásticos [89] que luego serán observados en el microscopio estereomicroscopio.

Es importante que en cada uno de los análisis se tenga un control de la posible contaminación de las muestras, para ello se debe de tener cerca al lugar de la

determinación un control, es decir un papel filtro húmedo o solo agua destilada en una caja Petri, que al final también debe de observarse para descartar la alteración de la concentración de microplásticos en la muestra [85].

## 2.5 IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

Para la identificación de partículas microplásticas en un estudio no existe un método normalizado el cual pueda realizarse de forma general, de manera que depende de las consideraciones y técnicas de cada investigador. Usualmente se utiliza la identificación visual que se basa en observar las propiedades físicas y morfológicas que involucra sus tres características principales, tamaño color y forma, además es un método práctico, rápido y de bajo costo [77].

No obstante, no es recomendable con partículas  $<500\ \mu\text{m}$  porque la probabilidad de una identificación errónea es muy alta por lo tanto sugieren su observación a partir de 1mm [78]. Una herramienta útil para tener una mayor precisión es el uso de microscopio óptico o microscopio estereoscópico [75].

Sin embargo, la primer técnica no brinda información a detalle sobre su forma [75] otra opción es la observación de las partículas a través de un microscopio electrónico de barrido que tiene la capacidad de aumentar la imagen hasta un millón de veces permitiendo apreciar mejor su estructura (Fig. 8) [92].

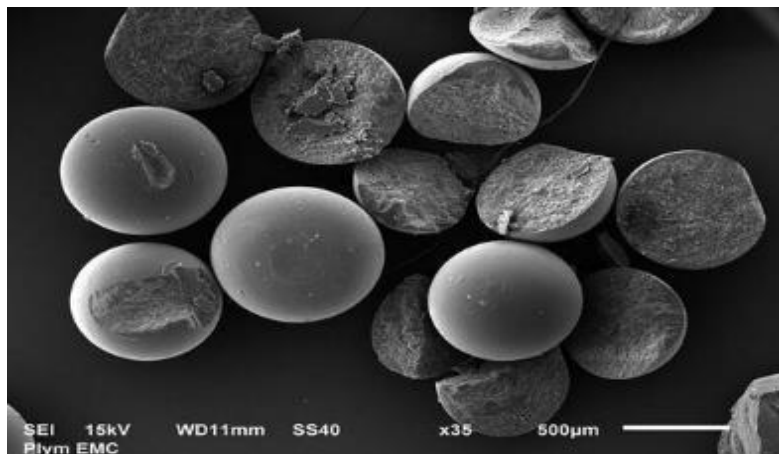


Fig. 8 Micro perlas aisladas de cosméticos visualizado en un microscopio electrónico de barrido.

Fuente: [93].

Otro de los métodos para la identificación de microplásticos es la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), esta técnica es aplicada para identificar compuestos orgánicos e inorgánicos cuyo fundamento se basa en hacer pasar una muestra a través de un haz infrarrojo que excita a las moléculas y absorbe parte de la radiación dando como resultado un espectro de absorción específico con tipos de enlaces y grupos funcionales con los que cuenta, posteriormente se comparan los resultados del analito con el espectro de una sustancia conocida para identificarlo [94], [95], aunque en algunos estudios ocupan esta técnica aún hay falta de información sobre el proceso exacto a utilizar, además no se obtienen resultados precisos, debido a que la estructura del microplástico puede cambiar por efectos de la degradación [96].

## 2.6 PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE

Los microplásticos pueden estar presente de acuerdo a su origen de forma primaria o secundaria [97]. El aumento en el consumo de productos plásticos ha provocado una serie de impactos y afectaciones al medio ambiente, debido a que sufren un proceso de degradación originando pequeños fragmentos que fácilmente pueden alojarse en diferentes ambientes naturales llegando a esparcir y acumular rápidamente por lo que es capaz de afectar a diferentes especies [93] [98].

Actualmente se ha convertido en un tema preocupante ya que hay reporte de estas partículas en, agua, sedimentos, aire y en el tracto digestivo de diversas especies siendo el ecosistema marino el más investigado [99], incluso se han encontrado en lugares alejados de la población y mancha urbana, tal es el caso de estudios realizados en aguas polares del ártico superficiales y subterráneas encontrándose abundancia de 0 a 1.31 m<sup>3</sup> en 20 de las 21 muestras realizadas, de igual forma hubo presencia de plásticos en núcleos de hielo, esto es un claro ejemplo de cómo puede afectar diferentes espacios y ecosistemas aún sin ser receptores directos de estos residuos, se plantea que la fuente principal son la desembocadura de los ríos al mar así como aguas residuales, buques, corrientes marinas y aire que transportan las partículas [100], [101].

Como consecuencia de la generación de residuos, en los años 90's se informó la presencia de desechos en su mayoría de plásticos en el giro subtropical del pacífico norte la cual ha ido incrementándose con el paso del tiempo y a la fecha se calcula un área cubierta de 1.7 millones de kilómetros cuadrados y pesa aproximadamente unos 3.5 millones de toneladas, actualmente es la isla de mayor dimensión, conocida como la isla de basura, a esta se le suman otras cinco islas de menor dimensión: una en el Atlántico Norte, una en el Atlántico Sur, una en el Océano Índico, una el Mar Mediterráneo y una en el Mar Caribe (Fig. 9) [39], [102].

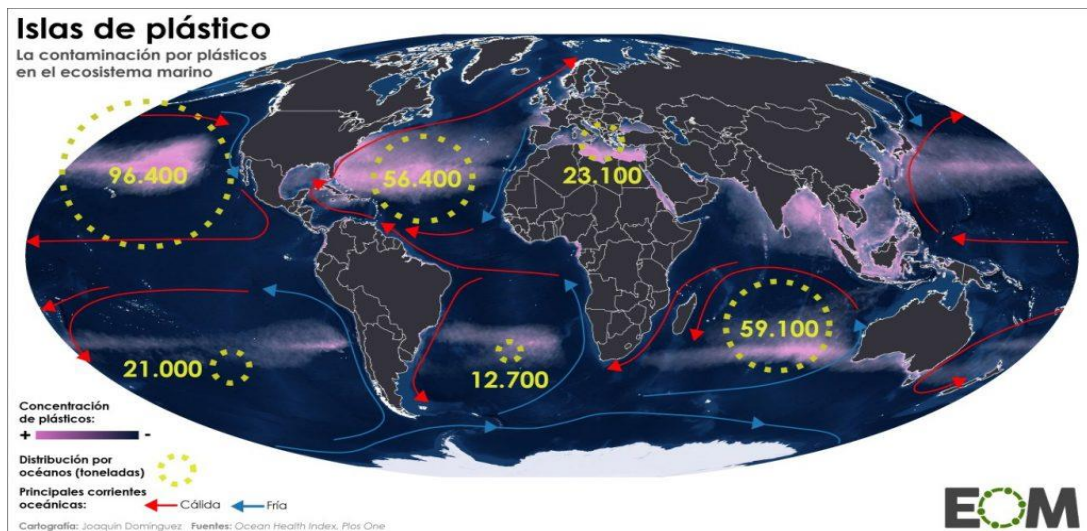


Fig. 9 Islas de basura localizado en los giros oceánicos.

Fuente: [103].

Por ello la acumulación de fragmentos en diferentes ecosistemas se ha convertido en un problema ambiental porque son difíciles de degradar de modo que los hace persistentes con un alto potencial de afectar de diferentes formas, siendo la ingesta accidental uno de los efectos más relevantes en la investigación científica, donde la literatura ha demostrado perturbaciones en mamíferos marinos, aves, peces, invertebrados, zooplancton, entre otros [104]. La (Fig. 10) muestra la presencia de fragmentos encontrados en la orilla de una playa.



Fig. 10 Fragmentos microplásticos en la orilla de una playa.  
Fuente: [105].

### 2.6.1 LOS SEDIMENTOS COMO RECEPTORES DE MICROPLÁSTICOS

Se ha mencionado con anterioridad que los plásticos se mantienen flotando en el agua, no obstante, hay plásticos con mayor densidad o que sufren bioincrustación (adherencia de organismos invertebrados, microalgas, bacterias, hongos y virus) por tanto sedimentan en el fondo, el principal ingreso es aportado por áreas urbanas y zonas turísticas. La mayoría de los estudios científicos se han realizado en sedimentos de la línea de costa, mientras que en sedimentos profundos hay pocos estudios que cuantifican una concentración aproximada debido a los costos que esto implica y a ello se suma la ausencia de un método estandarizado para realizar el muestreo, análisis y tratamiento de los datos [106].

Cabe mencionar que la cantidad presente en sedimentos superficiales (playas) y su distribución geográfica se ve determinada por diferentes factores como la inadecuada gestión de los residuos por parte de los humanos, corrientes locales, patrones de circulación, estructura, pendiente de la playa, intensidad del oleaje [107].

Hoy en día hay numerosos estudios de varios países que registran y dan a conocer la cantidad de microplásticos encontradas en sedimentos, a continuación, se da una breve descripción de diferentes investigaciones.

En una playa del lago subalpino de Garda, Italia se realizó un análisis a los sedimentos de dos zonas (costa norte y costa sur) por el método de separación por diferencia de densidad extrayendo 483 partículas / m<sup>2</sup> de la zona norte y 1,108 partículas / m<sup>2</sup> en la zona sur, por lo que la acumulación de estos desechos en la superficie hace más propensa la ingesta accidental de invertebrados y aves [108].

Por otro lado, en seis playas de el Salvador recolectaron 24 muestras en meses diferentes (abril y agosto) con el fin de determinar el peso de partículas microplásticas encontradas y compararlas, las muestras fueron colectadas en un espacio de 40 x 40 cm a una profundidad de 5.5 cm, el área total muestreada dio un acumulado de 38,400 cm<sup>2</sup> una vez analizadas las muestras obtuvieron un peso final de fragmentos de 19.5 g en abril y 10.2 g en agosto [109].

En la cuenta baja del río Jequetepeque, Perú se muestrearon cuatro zonas cercanas a la desembocadura del río al mar encontrándose fragmentos solo en la estación 4, en la muestra proveniente del lecho se identificaron 20 ítems / kg, mientras que en la muestra proveniente de la orilla se identificaron 160 ítems / kg del donde el 77,8 % fue clasificado como fragmento, mientras que 22,2 % restante como película [85], del mismo modo otro autor da a conocer la presencia de microplásticos en cuatro playas (Vesique, Albúfera de Medio Mundo, Costa Azul - Ventanilla y el Chaco) donde se colectaron muestras en junio de 2014 y mayo de 2015 con ayuda de un marco de 0.5 por 0.5 m tomando la arena superficial dentro del marco y tamizándola en un tamiz de 2.5 mm y de 1mm siendo la fracción retenida en el tamiz de 1mm la muestra a analizar, los fragmentos fueron fáciles de analizar y no se requirió del uso de un microscopio, dentro de los fragmentos se pudieron clasificar como: plástico duro, otras espumas, fibras, estireno, pellets blanco, pellet negro, Pellet transparente, fragmento de film y otros polímeros fueron encontrados en las cuatro playas arenosas y representaron más del 80% de cada muestra (Fig. 11). La Playa Vesique presentó 40 ítems / m<sup>2</sup> (0.95 g / m<sup>2</sup>), la playa Albúfera de



Medio Mundo 4.67 items / m<sup>2</sup> (0.50 g / m<sup>2</sup>), la playa Costa Azul, Ventanilla 463.33 items / m<sup>2</sup> (2.6 g / m<sup>2</sup>) y la Playa El Chaco presentó 11.33 items / m<sup>2</sup> (0.86 g / m<sup>2</sup>) [73].

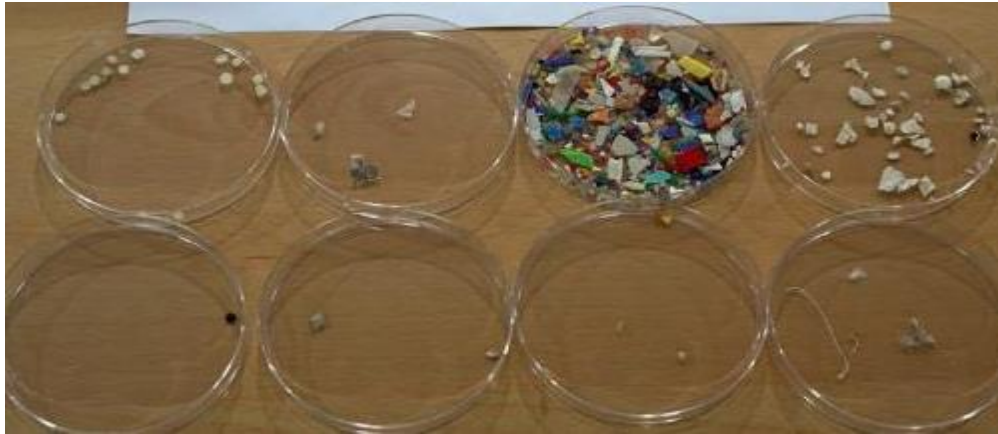


Fig. 11 Clasificación según el tipo de plásticos.

Fuente: [73].

En dos playas de Tenerife se tomaron 10 muestras de la zona intermareal de la playa Las Vistas y 5 muestras en la zona supra litoral de la playa La Tejida, encontrando en la primera fibras microplásticas, en el segundo caso se observó una mayor cantidad de fragmentos en el rango de tamaños de 2 a 5 mm [84]. De igual manera Villanova muestrea 12 playas que rodean la isla Tenerife (Islas Canarias) con el fin de ver la diferencias en concentraciones ya que supone que hay una relación entre la dirección de las corrientes con las distintas orientaciones de las playas. Los resultados obtenidos muestran que la mayor abundancia de microplásticos fue detectada en la playa de Los Gigantes y Finca El Apio, los microplásticos encontrados fueron principalmente del tamaño de 1 mm, acumulándose la mayor parte de estos en la línea de bajamar. El peso registrado no superó los 0.408 g, siendo 0g en muchas de las playas (Las Gaviotas, San Marcos, La Tejita y El Médano) [110].

En la costa de la bahía San Juan, Nicaragua en un transecto de 100 metros se tomaron muestras a una distancia de separación de 25 metros obteniendo una abundancia de 380 piezas comprendidas por fragmentos, fibras, pellets y foam, mientras que en su identificación química resultaron ser materiales de polietileno, polipropileno, poliestireno y policloruro de vinilo [83].

También hay reportes en México en la bahía de Chetumal al sur del Estado de Quintana Roo, donde alrededor de 15 muestras de sedimento de seis sitios de playa fueron analizadas por medio del tamizado durante tres temporadas, los resultados lo presentan en unidades de #items/ kg y #items/ m<sup>2</sup> [111].

En la Playa Costa Azul, Lima Perú se recolectaron 9 muestras en un transecto de 350 m de longitud mediante el uso de un cuadrante de 1 m<sup>2</sup> a una profundidad de 5 cm cuyo análisis fue por el método de tamizado, haciendo pasar la muestra por una malla de 106 µm, 850 µm, 2000 µm y mayores a 2000 µm, el peso total de los fragmentos encontrados en las 9 muestras fue de 216.5 gramos que posteriormente separaron y pesaron de acuerdo al color del plástico [112].

En Cartagena de Indias se analizaron muestras de la playa Marbella en periodo de secas en el mes de Febrero y periodo de lluvias en el mes de Junio, en total fueron colectados y clasificados 45.520 pellets de diferentes tamaños, colores y formas (Fig. 12) [113].

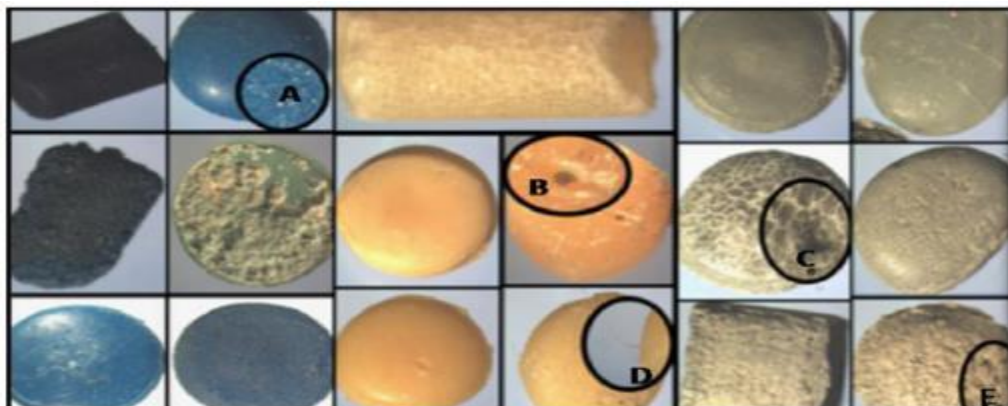


Fig. 12 Pellets de color azul, amarillo y gris con diferentes grados de decoloración A. Sitios de degradación preferencial. B. Adherencias. C. Superficie reticulada. D. Descamación y fibras. E. Superficie erosionada.

Fuente: [113].

Si bien, en muchas partes del mundo hay evidencia de la presencia de estas partículas en el sedimento, por tal motivo es importante comenzar a hacer conciencia sobre el consumo y la forma de la gestión que se le dan a estos residuos, la (Fig. 13) muestra un mapa mundial sobre algunos lugares en los que se han hecho investigaciones y encontrado estos fragmentos [76].

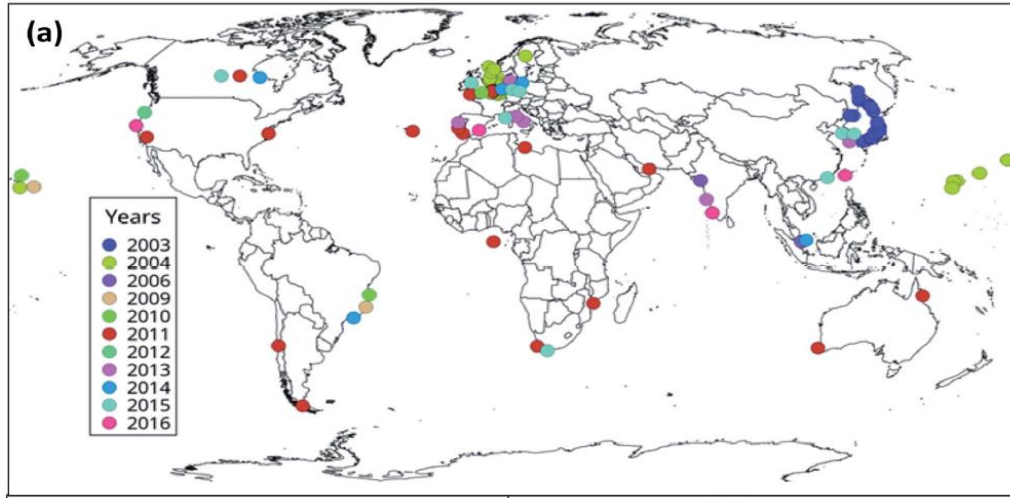


Fig. 13 Una visión mundial de las ubicaciones y el año en la que se registraron microplásticos en muestras de sedimento.

Fuente: [113].

## 2.6.2 MICROPLÁSTICOS EN AMBIENTES ACUÁTICOS

Los microplásticos se encuentran en ambientes acuáticos marinos o de agua dulce de cuatro formas, suspendidos en la superficie, en la columna de agua, en el fondo (sedimentos) y en la biota [114], a pesar de que se ha convertido en un problema alarmante aún no se cuentan con muchos estudios en el medio marino y son aún más escasos en cuerpos de agua dulce, por tal motivo no se puede cuantificar a ciencia cierta la magnitud del problema, además los microplásticos no se concentran en un solo lugar, sino que se dispersan en el agua dependiendo de su flotabilidad, densidad, bioincrustación, tamaño, forma y tipo de plástico [42], [115].

Los materiales plásticos que entran en el medio ambiente serán transportados a diferentes medios por ejemplo de tierra a agua dulce y de agua dulce a ambientes marinos con diferentes tiempos de residencia en cada uno [40].

El viento, las corrientes superficiales, vertidos ilegales, embarcaciones, actividades recreativas, actividades de dragado que remueven el fondo y suspende las partículas promueven el acarreo de estas mismas son uno de los ejemplos comunes de introducción de microplásticos [40], [116], Así mismo se contaminan los sedimentos de islas cercanas, al ser un sistema muy dinámico en donde se ven implicados diferentes factores físicos, químicos y antropogénicos por lo cual no

resulta fácil localizarlo en un solo punto dado que se dispersan en un espacio amplio [107].

Por otra parte, los ríos actúan como sumideros temporales ya que retienen estos residuos y lo transportan por medio de las corrientes a los océanos, un factor que acelera este proceso son los eventos de precipitación debido al incremento del caudal y la velocidad de la corriente que remueven la basura enterrada en el sedimento, también se suman los fragmentos arrastrados de la superficie terrestre que aumentan con ello la concentración de residuos [64] [104].

La falta de estudios en el monitoreo de efluentes de agua dulce limita conocer el aporte de residuos y deducir los posibles patrones de ingreso de microplásticos así mismo se desconoce los efectos provocados en este medio, sin embargo, los pocos estudios realizados dan evidencia de presencia de estos fragmentos en agua y en organismos acuáticos [117].

La pesca de especies marinas para consumo humano es una de las actividades responsables de introducir macro y microplásticos al mar, pues se usan redes y cuerdas que pueden romperse o sufrir desgaste en el arrastre y desprender pequeñas fibras, de igual manera las boyas y flotadores que permanecen expuestos a la radiación UV desprenden micro partículas (Fig. 14) [118].



Fig. 14 Diferentes residuos microplásticos flotando en el mar.

Fuente: [119].

Una investigación realizada en dos años diferentes 2010 y 2012 en el segundo río más gran de Europa, el Danubio clasificaron y cuantificaron artículos plásticos retenidos en redes de deriva estacionarias en el lecho del río, la fracción contenida

en su mayoría eran microplásticos, larvas de peces y desechos orgánicos que eran depositados en un frasco contenedor ubicado al extremo de la red, al final obtuvieron 951 muestras en ambos años con un total de 17,349 plásticos y estimaron que en promedio hay un aporte de 1.5 g por cada 1000 m<sup>3</sup> del río en el Mar Negro [120]. Por otro lado en el Mar mediterráneo en la costa de Garraf se encontraron un total de 514 partículas de 15 muestras obtenidas con redes de plancton [121].

En los grandes lagos Laurentianos de los Estados muestrearon en 21 estaciones con redes de arrastre con el fin de analizar y contabilizar partículas plásticas, obteniendo un promedio de 43,000 partículas / km<sup>2</sup>, sin embargo en la estación 20 se encontraron concentraciones mayores de 466,000 partículas / km<sup>2</sup>, mucho más que las otras estaciones combinadas, esta variación podría ser atribuida a que estaba ubicada aguas abajo y por efectos de la corriente hubo un mayor arrastre [122].

En el Océano Atlántico Sur tropical se recolectaron alrededor de las islas (Fernando de Noronha, Abrolhos y Trindade) muestras de agua con una manta en el cual se filtró más de 16,000 m<sup>3</sup> de agua, se observaron y clasificaron los microplásticos según su apariencia, forma, tamaño y color (Fig. 15) [123].

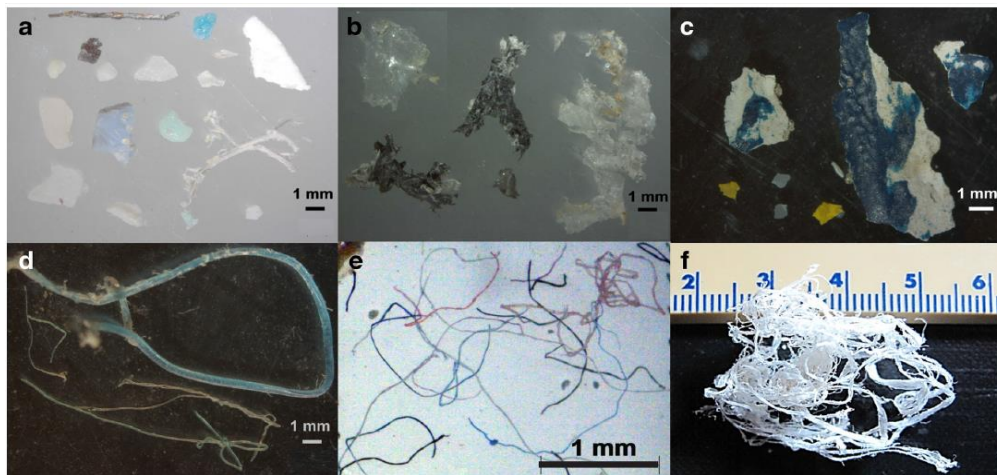


Fig. 15 Fragmento de plásticos duro (a), película (b), astillas de pintura (c), fibras (d y f) y hebras (e) recogidas de las aguas superficiales del oeste Océano Atlántico tropical.

Fuente: [123].

En Canadá se analizaron 62 muestras de aguas del río de Ottawa encontrándose en cada una de ellas un promedio de 1.35 fragmentos por litro, de igual forma se estudiaron 10 muestras de sedimentos encontrando 0.22 fragmentos por gramo de peso seco, la forma más común de partículas plásticas encontradas fueron las microfibras (Fig. 16) [124].

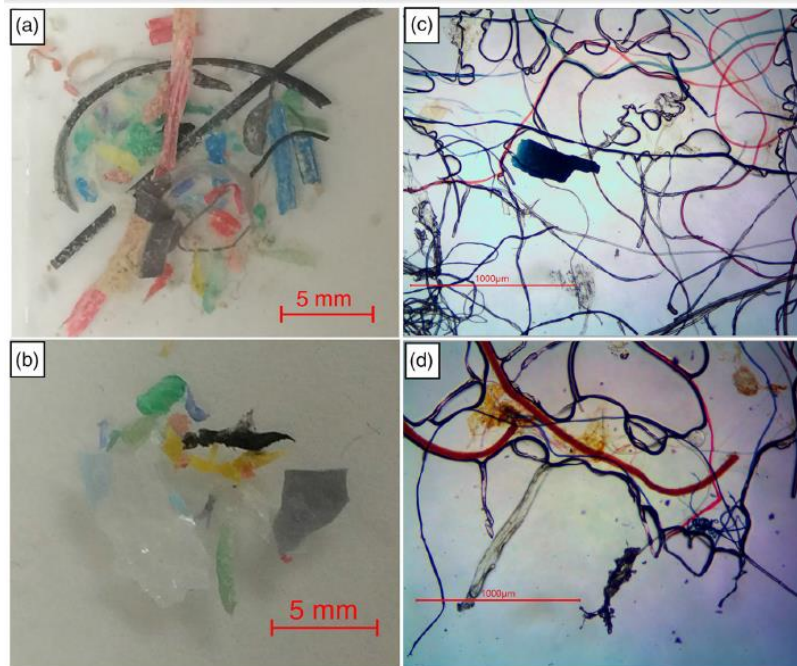


Fig. 16 (a) y (b) muestran ejemplos de fragmentos secundarios secundaria encontrados en el muestreo de la red Manta, (c) y (d) muestran ejemplos de partículas de plástico recuperados de sedimentos.

Fuente: [124].

Después de mencionar algunos de los factores que influye en la presencia y transporte de microplásticos, así como investigación científica que sustenta la evidencia de estos residuos en el agua, se debe de tomar en cuenta que una vez que el plástico ingresa al medio ambiente da inicio a una secuencia de procesos de degradación que perdura por años y a su paso provoca una serie de afectaciones en el ecosistema [125].

### 2.6.3 MICROPLÁSTICOS EN EL AIRE

El aire ambiente no está excepto de contener presencia de partículas microplásticas especialmente en forma de fibras, en un reciente estudio se estimó la concentración

en tres sitios interiores de un edificio y en el aire exterior, de igual manera también consideraron la fracción depositada en el polvo del suelo que previamente fue colectado con una aspiradora. Las concentraciones al aire libre oscilaron entre 0.3 y 1.5 fibras / m<sup>3</sup> y en el interior fue de 1.0 a 60 fibras / m<sup>3</sup> mientras que la tasa de deposición está entre 1586 y 11,130 fibras / día / m [126].

En ambientes urbanos y suburbanos también se han evaluado las concentraciones de fibras obteniendo una concentración de 2 a 355 partículas / m<sup>2</sup> /día, del mismo modo hay informes de presencia en lluvias, ya que las fibras al permanecer suspendidas y al caer las gotas de lluvias son atrapadas dentro de ellas, el análisis previo permitió estimar que por año caen aproximadamente entre 3 a 10 toneladas por precipitación en un año en un área de 2500 km<sup>2</sup> en una zona urbana [127].

Estos descubrimientos ponen en evidencia la cantidad de partículas que se unen a diferentes medios naturales como el suelo, agua y nieve debido al aumento de su concentración en el aire, un estudio reciente en Colorado, Estados Unidos recogieron muestras de agua de lluvia que se hizo pasar a través de un filtro de 0.45 µm de polietersulfona, los residuos retenidos se observaron con un microscopio binocular detectando estos residuos en más del 90% de las muestras que en su mayoría estaban compuestas por fibras de diferentes colores y en menor cantidad cuentas y fragmentos (Fig. 17) [128].

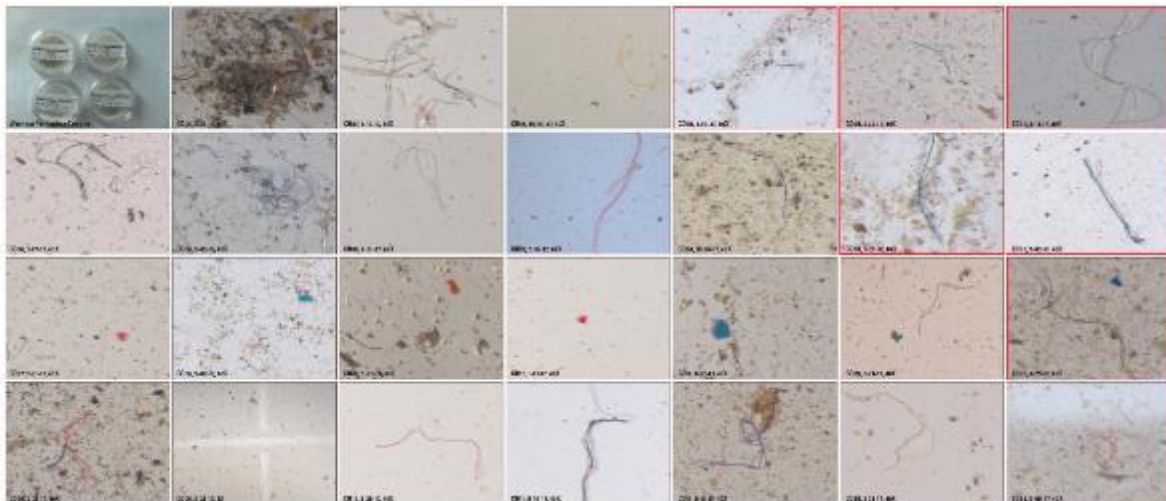


Fig. 17 Residuos microplásticos observados en las muestras de lluvia.

Fuente: [128].

El pequeño tamaño y ligero peso de las fibras favorece su suspensión y transporte por las corrientes de los vientos, persistiendo en ellos por tiempos prolongados antes de caer a una superficie, de este modo pueden ser inhalados por animales y humanos [129].

## 2.7 IMPACTOS REGISTRADOS POR MICROPLÁSTICOS EN DIFERENTES ORGANISMOS

Los impactos producidos por los microplásticos son amplios, en primer lugar, afecta el paisaje, modifican las características fisicoquímicas del agua, dañan a diferentes especies, alteran los servicios ecosistémicos y las comunidades acuáticas. A pesar de que estos residuos pueden estar presentes en ríos, golfos, cuencas, bahías y mares, las investigaciones se enfocan más en ecosistemas marinos ya que sugieren que un gran aporte es proveniente de los ríos y cuerpos de agua dulce [83].

De acuerdo al rango de tamaños de las partículas estos afectan de diferentes maneras, los que van de 1 a 5 mm son más propensos a ser ingeridos por organismos y acumularse u obstruir el tracto digestivo, los de 1  $\mu\text{m}$  a 1 mm, de igual forma pueden ser ingeridos pero con mayores probabilidades de ser excretado debido a su diminuto tamaño [130], otra de las formas es la absorción a través de las superficies respiratorias (branquias) en el caso de organismos acuáticos [40].

Los impactos principales sobre los organismo son la ingestión accidental que afecta a diferentes especies y en mayor medida a aquellas que son incapaces de regurgitar los objetos, además de que esta acción puede repetirse varias veces, de esta manera se acumula en el estómago provocando una deficiencia en la alimentación de modo que presentan una sensación de saciedad más rápido mientras ingieren una menor cantidad de alimento y con el paso del tiempo trae consigo la muerte (Fig. 18) , o en el peor de los casos sufren obstrucción del tracto digestivo que conlleva a una muerte por asfixia, o un bloqueo de los intestinos cuando los fragmentos se orientan de forma incorrecta, un ejemplo son las aves procellariiformes marinas del sur de África en donde se reporta los más altos niveles de afectación debido a la ingesta ya que buscan su alimento en la superficie y al no regurgitar acumulan el plástico [131].





Fig. 18 Ave marina en proceso de descomposición con microplásticos en el estómago.

Fuente: [132].

En aves es muy común la ingesta de residuos menores a 5 mm, un estudio evaluó la ingestión de 171 individuos de 9 especies diferentes de aves marinas en el Mediterráneo Occidental durante el 2003 al 2010, en donde la especie (*Calonectris diomedea*) registró un mayor número de individuos afectados (94%), seguida de la (*Puffinus yelkouan*) y (*Puffinus mauretanicus*) con un 70% [133].

La alimentación de las aves es un factor a tomar en cuenta en la ingestión de microplásticos, de manera que cada especie es diferente, por tanto la técnica para la obtención de alimentos también, hay especies, las omnívoras y que se alimentan de pequeños crustáceos, buceadoras que se zambullen en búsqueda de alimento, así como las que capturan su presa en la superficie del agua, estos últimos dos están en frecuente exposición a estos fragmentos, las aves con dietas especializadas tienen menor probabilidad de identificar erróneamente microplásticos (Fig. 19) [134], sin embargo, el hábito alimenticio no es una limitante en la ingesta accidental, pues se han encontrado que especies como albatros, petreles y pardelas, son más propensas a ingerir plástico ya que son capaces de identificar el sulfuro de dimetilo (DMS), un compuesto bioquímico que segrega el fitoplancton en descomposición, pero que suele impregnarse en la superficie plástica y de esta forma es confundido por alimento [135].

Otro punto importante que a menudo se considera por diferentes autores es el color ya que ciertos colores específicos pueden atraer a depredadores cuando se asemejan al color de su presa, siendo en ambientes marinos los fragmentos translucidos los más confundidos por aves marinas y tortugas [134].



Fig. 19 Ingestión de plástico por fulmares del norte (*Fulmarus glacialis*). Estomago sin abrir con plástico dentro (arriba), *individuo* masticando un fragmento de plástico (abajo a la izquierda), contenido estomacal con fragmentos, espuma, láminas y madera.

Fuente: [134].

Una investigación reciente en la costa de Rapa Nui, Isla de Pascua capturaron 20 peces de la especie (*Decapterus muroadsi*), la finalidad de este estudio fue para evaluar la hipótesis de que la ingesta por organismos acuáticos es debido al parecido que tienen con su alimento natural, 16 de estos peces contenían

fragmentos menores a 5 mm de polietileno de color azul similar a la especie de copépodos azules que consume, de esta manera confirmaron y evidenciaron que el color es un causante muy importante en la ingesta accidental, la (Fig. 20 ) muestra la comparación de los fragmentos con los copépodos [136].

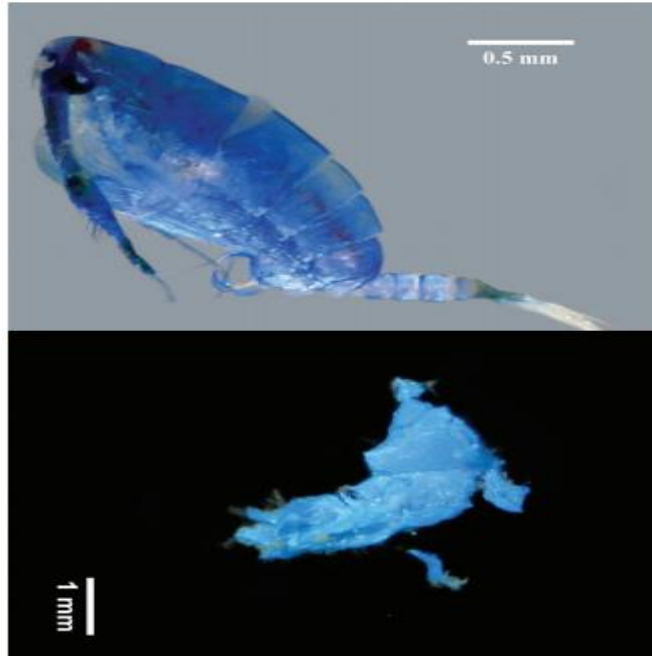


Fig. 20 Fragmentos de PE color azul comparado con Copépodos azules.

Fuente: [136].

Investigadores de la Universidad de Uppsala en Suecia han examinado el impacto que generan los microplásticos en larvas de peces de (*Perca fluviatilis*) del mar Báltico, en acuarios de laboratorio las expusieron a diferentes concentraciones de partículas de poliestireno de 90  $\mu\text{m}$  (0,09 mm) observando una inhibición en la eclosión de un 15% en altas concentraciones, por otro lado, en las que lograron eclosionar produjo una disminución en la tasa de crecimiento, alteró las preferencias alimentarias y su comportamiento innato ya que mientras las larvas se encontraban en crecimiento notaron una preferencia alimenticia hacia los microplásticos en vez del plancton, además las larvas expuestas por dos semanas en mayor concentración perdieron la habilidad de reaccionar ante las señales de amenaza olfativas aumentando con ello la tasa de mortalidad debido la dificultad de detectar a sus depredadores (Fig. 21) [137], [138].



Fig. 21 Larva de (*Perca fluviatilis*) con fragmentos microplásticos en su aparato digestivo.

Fuente: [138].

Los moluscos también se han visto afectados, tal es el caso del molusco (*Mytilus edulis*) que tras una exposición a agua de mar y microplásticos de 3.0 a 9.6  $\mu\text{m}$  dio a conocer que estos residuos se acumulaban en el intestino, sin embargo, después de haberse trasladado a condiciones limpias por 3 días para rastrear el microplástico, se logró localizar en la hemolinfa pasando del intestino al sistema circulatorio donde persistió por 48 días [139].

Por otra parte, un total de 146 elasmobranquios capturados del Mar Balear del Mediterráneo occidental compuesto por 131 individuos de la especie (*Galeus melastomus*), 8 de (*Etmopterus spinax*), 5 de (*Scyliorhinus canicula*) y 2 de (*Chimaera monstrosa*) fueron estudiados para evaluar la presencia de residuos plásticos, en donde se encontraron fragmentos microplásticos en 25 de ellos en sus estómagos (Fig. 22) [88].

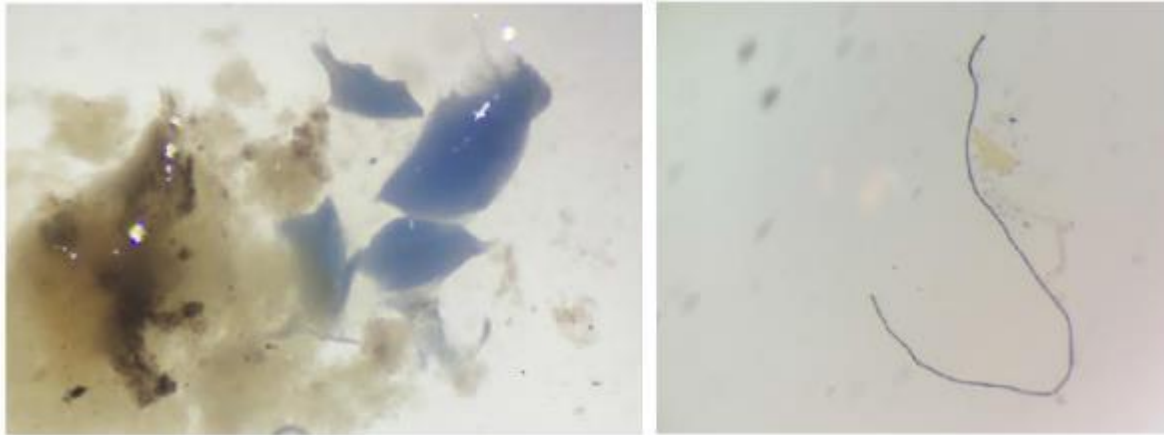


Fig. 22 Ejemplo de microplásticos ingeridos por (*Galeus melastomus*). Derecha: Filamento de microplástico; Izquierda: Partículas de microplásticos.

Fuente: [88].

En una experimentación con peces cebra (*Danio rerio*) que fueron expuesto por 7 días a poliestireno con tamaño de 5  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  y 70 nm, se observó la acumulación en branquias, hígado e intestino (Fig. 23), se alteraron los perfiles metabólicos del hígado y los de 70 nm ocasionaron inflamación y acumulación de lípidos en el hígado [140].

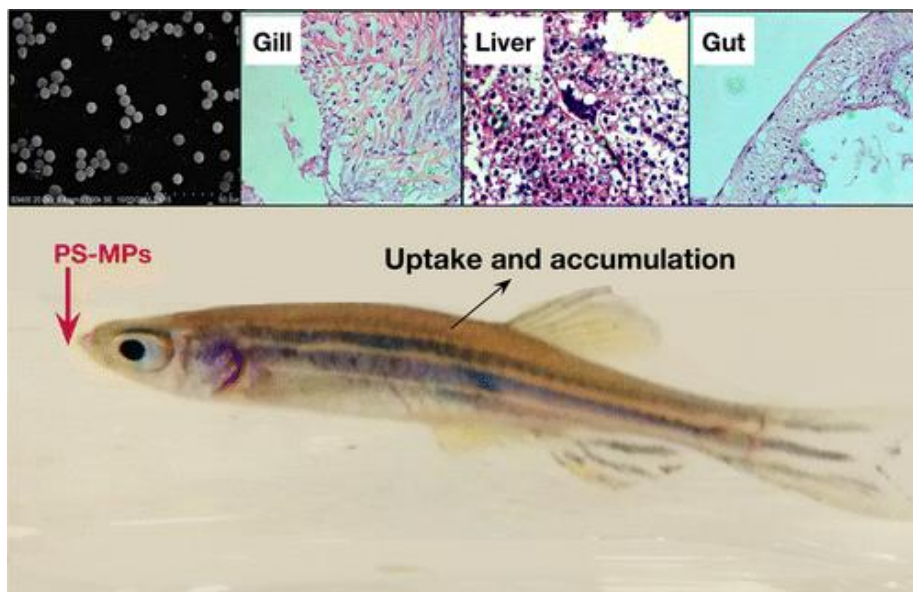


Fig. 23 Microplástico de PS en branquia, hígado e intestino del Pez Cebrá.

Fuente: [140].

## 2.8 ESTUDIOS SOBRE PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE PECES

La presencia de microplásticos en estómagos de peces también ha sido firmemente demostrada a través de una serie de investigaciones, seguidamente se describe algunos artículos de investigación científica.

En lima, Perú analizaron la presencia de microplásticos ingeridos por la especie Lisa (*Mugil cephalus*), un pez de fácil adquisición y alto consumo en ese país, para ello obtuvieron información biológica para conocer sus medidas básicas como la longitud estándar, longitud total, longitud horquilla y peso total, posteriormente extrajeron los órganos internos y separaron aparte el estómago y los intestinos y se dispusieron en 5 ml de alcohol para preservar la muestra y utilizaron un microscopio como apoyo a la identificación de los microplásticos en donde hubo observancia de pequeños fragmentos transparentes de plásticos en dos de los tres peces analizados (Fig. 24) [90].

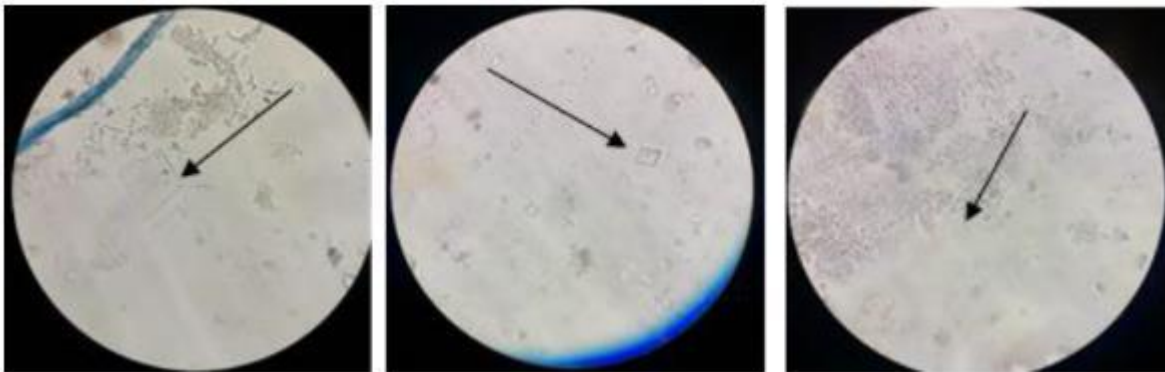


Fig. 24 Fragmentos microplásticos en estómago de Lisa (*Mugil cephalus*).

Fuente: [90].

Por otro lado, en las costas de la región IV de Coquimbo, Chile, dos investigadores evaluaron el grado de ingestión de partículas plásticas menores a 5 mm de la especie anchoveta (*Engraulis ringens*), trabajando con 40 muestras, extrajeron todo el tracto digestivo y preservaron en alcohol al 95% de pureza, en seguida procedieron a pesar los órganos internos con y sin contenido estomacal, por último observaron todo el contenido estomacal en un microscopio estereoscopio binocular,

sin embargo, no encontraron microplásticos en ninguno de los 40 peces, aunque en este estudio no se pudo comprobar la contaminación por plásticos a su vez aporta el conocimiento de que en esa área aún no ha sido impactada de forma significativa por este tipo de residuos y por tanto aún no hay afectaciones directas a las especies acuáticas[91].

Una investigación realizada en Ecuador también analizó el tracto digestivo y el contenido estomacal de tres especies (*Scomber japonicus*, *Opisthonema libertate* y *Auxis thazard*), de gran comercialización y consumo en la zona, para ello cada mes analizaron 30 individuos de cada especie en un periodo de seis meses obteniendo al final una muestra de 540 peces, se extrajeron el estómago e intestino en donde examinaron el contenido de forma separada y colocaron en frascos con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10% durante dos semanas para lograr la degradación del tejido y la materia orgánica con el objetivo de que solo las partículas plásticas prevalezcan y así sea más fácil su observación y reportaron que 12 individuos de (*Auxis thazard*, 9 de *Scomber japonicus* y 1 de *Opisthonema libertate*) había presencia de microplásticos en su tracto digestivo [89].

Por otro lado en el Canal de la Mancha de Europa Occidental se muestrearon 10 especies, obteniendo un total de 504 individuos, en cada uno de ellos se extrajo el tracto digestivo para localizar fragmentos microplásticos en el rango de tamaños de 1 a 5 mm, encontrándose un promedio de  $1.90 \pm 0.10$  piezas en 180 individuos (36.5%), colectando un total de 351 piezas que previamente fueron identificadas por el método de espectroscopía (FTIR) arrojando un 36,6% de poliamida y 57.8% de rayón, concluyendo que estos residuos afectan a un porcentaje considerable de diferentes especies [141].

En el año 2013 tres ballenas se encallaron en las costas del norte y oeste de Irlanda, siendo esta una oportunidad para los investigadores que analizaron una de ellas y extrajeron el contenido estomacal e intestinos para identificar presencia de microplásticos, logrando identificar varios fragmentos, sin embargo no estaban seguros del origen, si había sido ingerido directamente o si sus presas eran la fuente de aporte [142].

Por otro lado, en el Mar del Norte capturaron 1203 peces de siete especies diferentes (arenque, perlón gris, merlán, jurel, eglefino, caballa atlántica y bacalao), localizando partículas solo en cinco especies con 2.6% de todos los individuos examinados, los tamaños se encontraron en un rango de 0.04 a 4.8 milímetros, las especies que estaban libres de plásticos fueron perlón gris y caballa atlántica [143]. En el 2016 investigadores realizaron un análisis en el tracto digestivo de 64 anchoas (*Engraulis japonicus*) provenientes de la bahía de Tokio, Japón, de los cuales 49 resultaron afectadas por estos residuos, encontrándose de 2.3 a 15 piezas por ejemplar y posteriormente analizaron por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, el 52% correspondía a polietileno, el 43.3% a polipropileno y el resto eran microperlas [144].

En peces pelágicos del mar mediterráneo hallaron en el contenido estomacal restos plásticos en tres especies de peces pelágicos comerciales (*Xiphias gladius*) con 12.5%, T. (*Thunnus thynnus*) con 32.4% y (*Thunnus alalunga*) con (12.9%), que difirieron en tamaño para cada especie depredadora; mesoplástico (44.4%), macroplástico y mesoplástico (31.3%) y microplástico (75%), respectivamente. Asimismo, analizaron que la presencia de dichos residuos podría ser explicado por la estrategia de alimentación oportunista para el caso de *T. thynnus*, ya que desarrolla la captura de presas en aguas poco profundas, donde los fragmentos de plásticos son más abundantes debido a su flotabilidad [145].

## 2.9 MICROPLÁSTICOS A TRAVÉS DE LA CADENA TRÓFICA

El amplio uso y degradación de los plásticos ha dado como resultado una gran distribución en el medio ambiente, por tal motivo estos residuos pueden estar biodisponibles en diferentes ambientes naturales, pero en mayor cantidad en zonas con mayor mancha urbana en donde se realizan diferentes actividades antropogénicas [61].

En el ambiente marino, el fitoplancton y el zooplancton son alimentos principales para una variedad de organismos y es aquí donde da inicio la cadena trófica en el ecosistema marino, de manera que si hay ingesta por parte de ellos de micro o nano plásticos estos se vuelven disponibles, además de que son capaces de moverse a



múltiples profundidades por lo que distintas especies pueden consumirlo y de esta forma se abre paso en la transferencia a través de la cadena alimentaria [63], [130]. Posteriormente los depredadores secundarios que consumen a su presa y si esta anteriormente ingirió microplásticos recibe estos mismos fragmentos de forma indirecta, estudios en laboratorio consideran a este el medio el más común para recorrer los siguientes niveles tróficos, la (Fig. 25) se representan las partículas de microplásticos (puntos azules) y las flechas negras punteadas indican una interacción entre organismo y partícula (ingestión / absorción directa), las flechas negras indican una ingestión indirecta de microplásticos (transferencia trófica potencial, las líneas amarillas indican la ruta potencial de los microplásticos hasta los seres humanos después del consumo de mariscos y por último, el espesor de la flecha representa una posible bioacumulación de partículas a través de la red trófica [47].

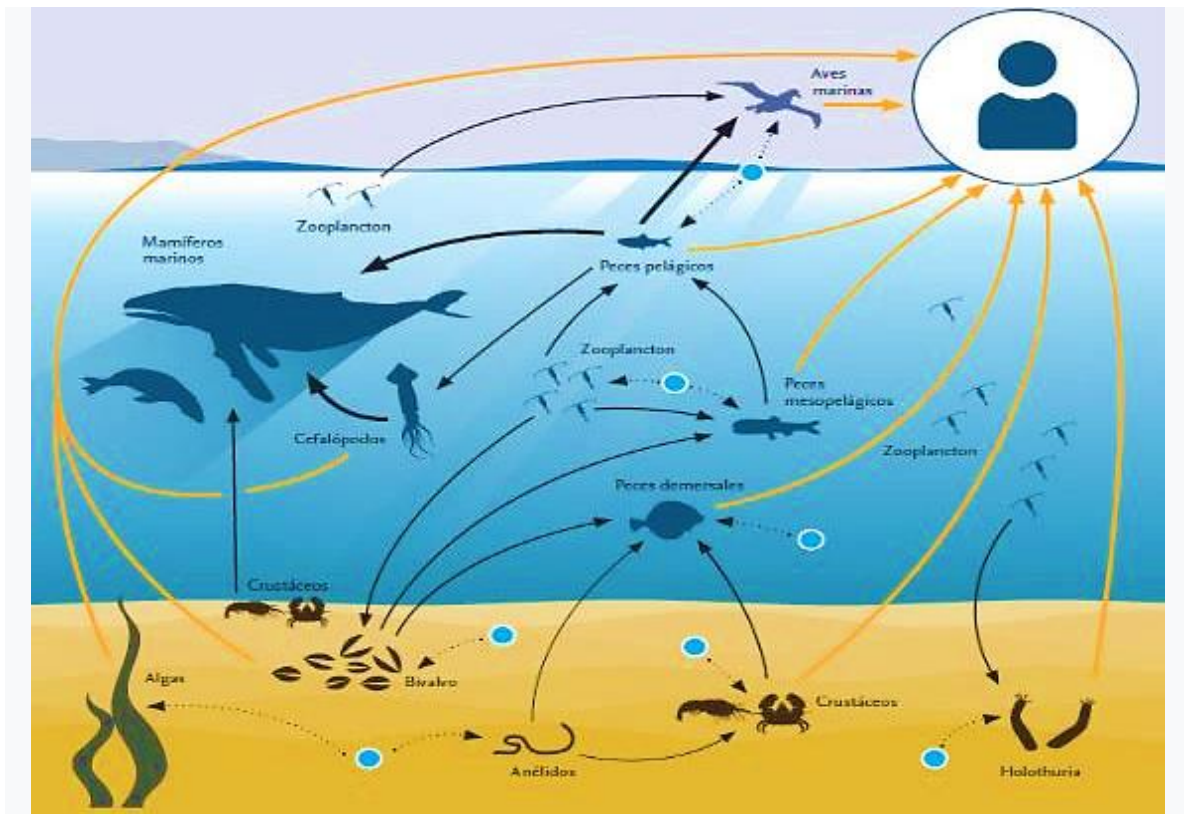


Fig. 25 Interacción de los micro plásticos en los diferentes niveles tróficos  
Fuente: [47].

El diminuto tamaño de estas partículas facilita su ingreso al tracto digestivo de diferentes organismos al ser confundidos por alimento siendo los microplásticos de color gris, verde, blanco, amarillento, azul, rojo, negro y transparente los más encontrados en diferentes investigaciones. Los niveles superiores de la cadena trófica sufren una mayor recepción de contaminantes y bioacumulación ya que actualmente ha aumentado la exposición y la ingesta por diferentes organismos debido al incremento de la contaminación por estos residuos, a pesar de ello aún no hay evidencia sólida, sin embargo, al haber reportes de partículas en estómago de diferentes especies, la probabilidad de que se transfieran al depredador es muy alta. [146].

## 2.10 TOXICOLOGÍA DEL PLÁSTICO

La ingestión de los microplásticos no solo se basa en la acumulación de los residuos en el tracto digestivo, sino que también conlleva otras implicaciones que está ligado a la presencia de sustancias químicas adheridas a los fragmentos, estas puede estar presente de dos maneras: la primera forma parte del polímero como aditivo, es decir, una mezcla de productos químicos que se añaden en la fabricación como son: los plastificantes, retardantes de llama y antimicrobianos, un ejemplo de ello es el monómero bis-fenol A residual (BPA) [136], [148] utilizado en la fabricación de policarbonato y resinas epoxi cuyo residuo ha sido estudiado en agua potable, aguas residuales, aire y polvo [149], la segunda ocurre cuando es absorbido en su estructura por ejemplo los compuestos orgánicos persistentes (COP) como los bifenilos policlorados (PCB) que se concentran en los fragmentos plásticos [150]. Un estudio realizado en gránulos de resina encontradas en una playa en Tokio fueron analizadas con el fin de evaluar la concentración de compuestos químicos en cada una de ellas, hallándose de 28 a 2300  $\mu\text{g}$ , siendo las más decoloradas las que presentaban mayores concentraciones, de igual manera realizaron este mismo estudio en 47 playas de Japón y en islas cercanas obteniendo concentraciones variables, estos gránulos pueden ser ingeridos por parte de algunos organismos y de esta forma entrar a la cadena trófica y ejerce un efecto toxicológico en el individuo [151].

De igual manera se detectaron concentraciones de PCB (4 a 117 ng / g), DDE (0.16 a 3.1 ng/g), y nonilfenoles (NP) (0.13 a 16 µg / g) en resinas plásticas colectadas en cuatro costas de Japón, a manera de comparación utilizaron pellets vírgenes de PP exponiéndolos por siete días a agua de mar en donde se observó un aumento continuo en las cantidades de PCB y DDE siendo el agua la principal fuente de contaminantes [152].

En el año 2014 en un estudio se evaluó el potencial de absorción por parte del PVC y PE ante contaminantes como el C-DDT, C-fenantreno (Phe), C-ácido perfluorooctanoico (PFOA) y C-di-2-etilhexil ftalato (DEHP), una vez retenido el contaminante, simularon la tasa de desorción en condiciones intestinales de organismos de sangre fría y de sangre caliente bajo dos parámetros (temperatura y pH), dando como resultado una mayor desorción en organismos de sangre caliente por lo que estos son más vulnerables a sufrir los efectos toxicológicos [153], [154].

Además de los COP también se ha evaluado la acumulación de metales pesados en la superficie plástica, gránulos suspendidos en el mar durante 8 semanas demostraron la adsorción y precipitación de algunos metales [155].

Además de los fragmentos, las microfibras de polietileno y polipropileno retienen diez veces más concentración que otros microplásticos dado que presenta características similares a la de una esponja. Hoy en día aún no se conoce en qué medida la transferencia de sustancias tóxicas sucede a causa de la ingestión, sin embargo, en ocasiones llevan a desordenes reproductivos, alterar los niveles hormonales, afecta la asimilación de los alimentos e incrementan el riesgo de muerte [53].

## 2.11 IMPACTO DE LOS MICROPLÁSTICOS EN LA SALUD HUMANA

La actividad humana ha llevado al aumento de la contaminación plástica en todo el medio marino, por lo que una variedad de especies consumen estas partículas, además están expuestas a sustancias químicas de fabricación y las que absorben del agua [156].

Actualmente el riesgo que representan los microplásticos en la salud humana aún no han sido investigadas a profundidad por lo que es complicado asegurar que también somos afectados por estos residuos, sin embargo la preocupación ha

aumentado ya que existe la certeza y evidencia el impacto producido en una amplia gama de organismos [157].

Las partículas de plástico a menudo se encuentran concentradas en el tracto digestivo de un organismo, de modo que los bivalvos, peces pequeños, mejillones, almejas y camarones que son consumidos enteros tienen más probabilidades de introducir microplásticos en la dieta humana [42].

En un estudio evaluaron la hipótesis de presencia de partículas en sal de mar, de lagos y rocas para ello analizaron 15 marcas conocidas de China, en donde sorprendentemente hallaron 550 a 681 partículas/kg en sales marinas en las que predominaron las fibras, 43 a 364 partículas/kg en sales de lagos y 7 a 204 partículas de sales de rocas. Este hallazgo fue algo alarmante para la humanidad ya que la sal es un elemento usado frecuentemente en la elaboración de alimentos de manera que los consumidores se ven expuestos a ella, al ser fragmentos que miden menos de 200  $\mu\text{m}$  es difícil observarlos a simple vista [158].

Además de la ingesta el ser humano también se ve expuesto de forma diaria a las micropartículas que se encuentran flotando en el aire y son inhaladas al respirar, aunque hay posibilidad de que afecte la salud humana, aún no se ha podido evaluar ya que depende de la dosis de exposición y actualmente se carece de evidencia así como los efectos que pudiera producir [159].

En Italia, recientemente se llevó a cabo un análisis en búsqueda de microplásticos en placentas de cuatro mujeres sanas, para ello recolectaron 3 porciones de cada una del lado materno, del lado fetal y de las membranas corioamnióticas, en total se encontraron 12 microplásticos 5 en las porciones del lado fetal, 4 en las porciones del lado materno y 3 en las membranas corioamnióticas [160].

## 2.12 MEDIDAS ADOPTADAS PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS PLÁSTICOS.

Debido al aumento de la preocupación en base al medio ambiente, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) realiza asambleas con el fin de llegar a un acuerdo entre países para atender problemas ambientales globales. Del 11 al 15 de marzo de 2019 se llevó a cabo la IV Asamblea de Medioambiente de la ONU (UNEA-4) en

Nairobi, Kenia, el tema abordado fue el daño a los ecosistemas que ha causado el uso de los productos plásticos varios países apoyaron la medida que propuso India sobre la eliminación progresiva de los productos plásticos para el año 2025, sin embargo Estados Unidos, Arabia Saudita y Cuba se opusieron, al final se acordó la reducción significativa de los productos plásticos de un solo uso para el año 2030 en donde se comprometieron más de 170 países a adoptar medidas para disminuir el consumo de este tipo de materiales [161].

Por otro lado, en los últimos años varios estados de México como Baja California Sur, Chihuahua, Sonora, Durango, Tamaulipas, San Luis Potosí, Jalisco, Ciudad de México y Nuevo León han tomado la iniciativa de incluir en su legislación la prohibición de artículos plásticos desechables o de un solo uso como bolsas de plástico, popotes, o artículos de unicel la (Tabla 1) describe brevemente los cambios en la legislación que ha aprobado cada estado. En Veracruz recientemente se aprobó una reforma de ley para disminuir progresivamente el uso de plástico y popotes, priorizando el uso de alternativas más amigables que entró en vigor 180 días después de su aprobación en mayo de 2018 [162].

Tabla 1. Estados que han introducido en su legislación la prohibición del uso de algunos productos plásticos.

ESTADO	FECHA	LEGISLACIÓN
Veracruz	Mayo de 2018	Aprobó una reforma a la Ley Estatal de Residuos Sólidos para disminuir el uso de popotes y plásticos en territorio estatal 21 con el objetivo de frenar el daño ambiental a los cuerpos de agua y a la fauna marina.
Nuevo León	22 de diciembre de 2017	Presentan iniciativa de reforma por modificación del Capítulo IV del Título IV, y por adición de los artículos 168 Bis y 168 Bis I, de la Ley de Ambiental del Estado de Nuevo León, en la cual queda prohibida la venta, dádiva y uso de popotes de polietileno, polipropileno y polímero de plástico.
Baja California Sur	18 de julio de 2018	El Congreso del Estado de Baja California Sur, aprobó las reformas a la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado, el cual establece la eliminación del uso de bolsas plásticas y contenedores de poliestireno expandido, así como de popotes plásticos en establecimientos de la entidad.
Guerrero	18 de julio de 2018	Aprueban reformas a la Ley de Aprovechamiento y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Guerrero, que prohíben a los establecimientos comerciales el uso de bolsas de plástico y la entrega al consumidor de envases poliestireno.
Chihuahua	30 de agosto de 2018	El Congreso prohibió el uso de popotes plásticos en restaurantes de la entidad, mediante reforma a la Ley Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

Oaxaca	16 de marzo de 2019	Probaron la entrada en vigor la reforma al artículo 16 que prohíbe el uso de unicele en locales comerciales.
Sonora	30 de septiembre de 2018	La Comisión de Energía, Medio Ambiente y Cambio Climático presentó una reforma de ley para prohibir la distribución y uso de bolsas de plástico por parte de cualquier tipo de establecimiento
Yucatán	15 de enero de 2019	El gobierno estatal envió al Congreso Local la iniciativa de modificación de la Ley para la Gestión Integral de los Residuos, la cual contempla la disminución y eliminación gradual del uso de bolsas y popotes de plástico.
Coahuila	17 de diciembre de 2018	Aprobó una reforma para restringir la venta, facilitación y obsequio de bolsas y popotes plásticos en supermercados, tiendas de autoservicio, farmacias, tiendas de conveniencia, mercados, restaurantes y similares.

Actualmente se encuentran registrados los estados y países que han tomado la iniciativa en prohibir estos productos en el documento “Iniciativa que reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos” [163].

### 2.13 DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE TILAPIA (*Oreochromis aureus*).

La Tilapia no es una especie endémica de México y actualmente se encuentra distribuida con otras especies de (*Oreochromis*) en ríos, lagos, lagunas costeras, embalses y cuerpos de agua artificiales del país debido a su introducción en los años de 1960 y 1970 con el fin de llenar nichos ecológicos, incentivar la pesca y la acuicultura [164].

La especie (*Oreochromis aureus*) son de ambientes tropicales, omnívoras que habitan en ecosistemas lénticos y lóticos, en orillas de ríos entre sustrato rocoso y plantas acuáticas, poseen un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, cuerpo comprimido lateralmente y raramente alargado con escamas grandes, las aletas dorsales y anales presentan espinas duras mientras que las pectorales y pélvicas son de gran tamaño que le otorga un gran control al nadar, la boca es generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos cuyas mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos (Fig. 26). La diferenciación sexual se basa en que el macho presenta dos orificios bajo el vientre: el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres: el ano, el poro genital y el orificio urinario (Fig.

27). Es una especie muy prolífera alcanzando su madurez sexual de 2 a 3 meses después de la eclosión, se reproduce entre los 20 a 25 °C en el cual el huevo de mayor tamaño es más eficiente para la eclosión y fecundidad [165].

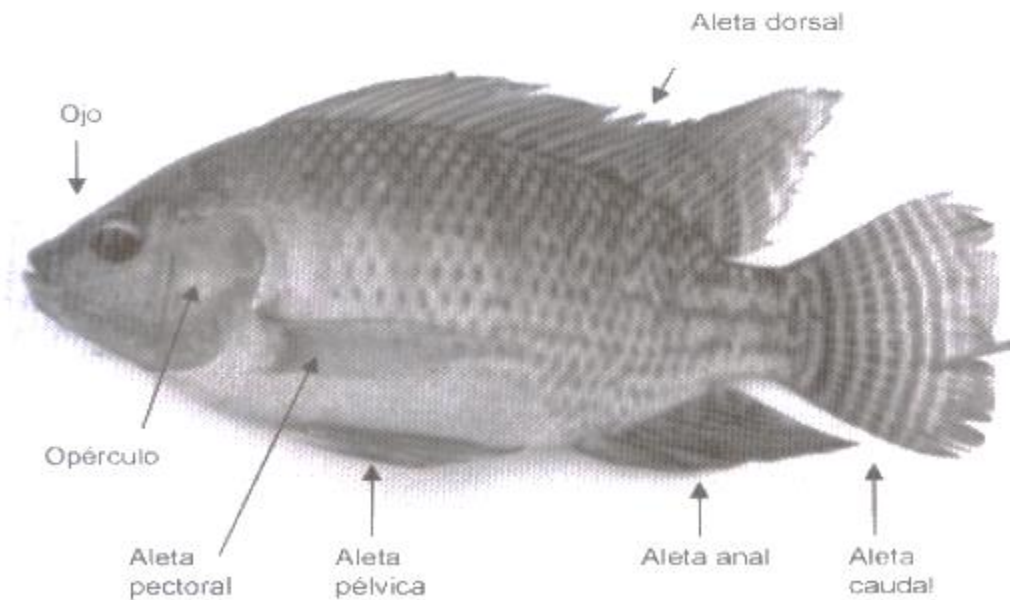


Fig. 26 Individuo de Tilapia (*Oreochromis aureus*).  
Fuente: Fuente: [165].

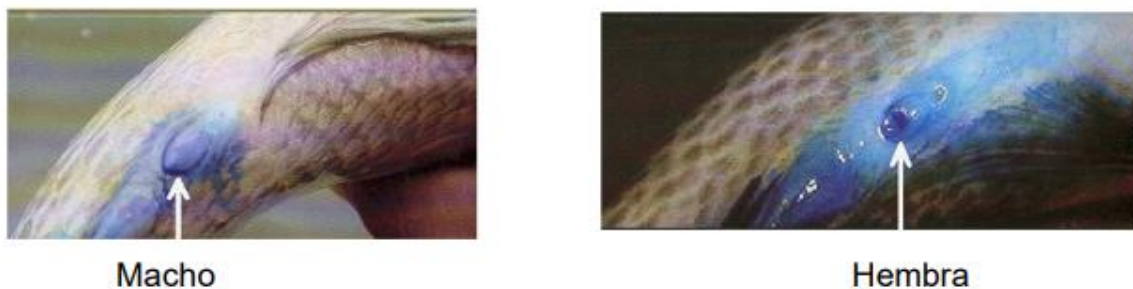


Fig. 27 Diferencia sexual de la Tilapia (*Oreochromis aureus*).  
Fuente: [165].

### 3. MARCO CONCEPTUAL

**Asta natural:** El asta es una proyección ósea que nace en el hueso frontal de algunos animales [166]

**Goma laca:** Es una sustancia orgánica que se obtiene a partir de la secreción resinosa de un pequeño insecto rojo llamado gusano de la laca [167].

**Gutapercha:** Procede de los árboles *Palaquium gutta* originarios de la península de Malasia [167].

**Espín:** El espín es una propiedad física de las partículas elementales por el cual tienen un momento angular intrínseco de valor fijo [168]

**Polímero:** Un polímero es una sustancia compuesta por grandes moléculas, o macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros [169].

**Estabilizadores de polímeros:** Son aditivos químicos que se pueden agregar a materiales poliméricos, como plásticos, para inhibir o retardar su degradación [170].

**Catalizador:** Los catalizadores son sustancias que se pueden agregar a una reacción para aumentar la velocidad de reacción sin que se consuman en el proceso [171].

**Enzima:** Las enzimas son moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción [172].

**polimerización:** La polimerización es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero [173].

**RSU:** Los residuos sólidos urbanos<sup>1</sup> son aquéllos que se producen en las casas habitación como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (por ejemplo, residuos de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques, o residuos orgánicos); los que provienen también de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias y los resultantes de lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (DOF, 2003).



**Degradación:** “Cualquier cambio indeseable en las propiedades, que ocurre después de que el material ha sido puesto en servicio. En el caso de los polímeros la degradación puede afectarlos física, química y(o) mecánicamente” [54].

**Plastificantes:** Los plastificantes o plastificadores son aditivos que suavizan los materiales (normalmente mezclas de plástico u hormigón) a los que se añaden [174].

# **Capítulo III**

## **(METODOLOGÍA)**

## 1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Lago de Catemaco es un cuerpo de agua con una profundidad variable con un promedio de 8 metros hasta alcanzar un máximo de 22 metros. Drena a través del Río Grande cuyo nivel de agua está controlado por una compuerta, forma parte de la cuenca del Río Papaloapan el cual desemboca en la costa del Golfo de México. Dentro de la laguna hay 12 islas distribuidas con diferentes tamaños y características, las más conocidas son la Isla Agaltepec por ser la de mayor tamaño y la Isla de los monos que es el principal destino turístico que promueven los lancheros en su recorrido.

Este lago es la principal fuente de alimento de la comunidad y cuenta con diferentes especies como la Tilapia, especie introducida al lago en los años setenta, sardina pequeña de agua dulce, localmente denominada Topote y el caracol endémico del sitio conocido como Tegogolo, en este están prohibidas las redes de grandes dimensiones, así como la pesca industrial para asegurar la subsistencia de más de 2,000 pescadores registrados.

Dentro del perímetro del lago se presentan pequeñas playas, por otro lado, el sedimento que presenta es variable, en la parte más profunda dominan arcillas y arcillas limosas, mientras que en las orillas la textura cambia gradualmente de limo arcilloso a arena gruesa. El clima que se presenta alrededor de la Laguna es cálido y húmedo con una temperatura promedio anual de 24.6 °C.

Cerca de la laguna se encuentra la zona urbana que es la cabecera del municipio (Fig.28), en el 2005 se contaba con 46,702 habitantes y a la fecha esta cifra a aumentado [175], [176], [177].

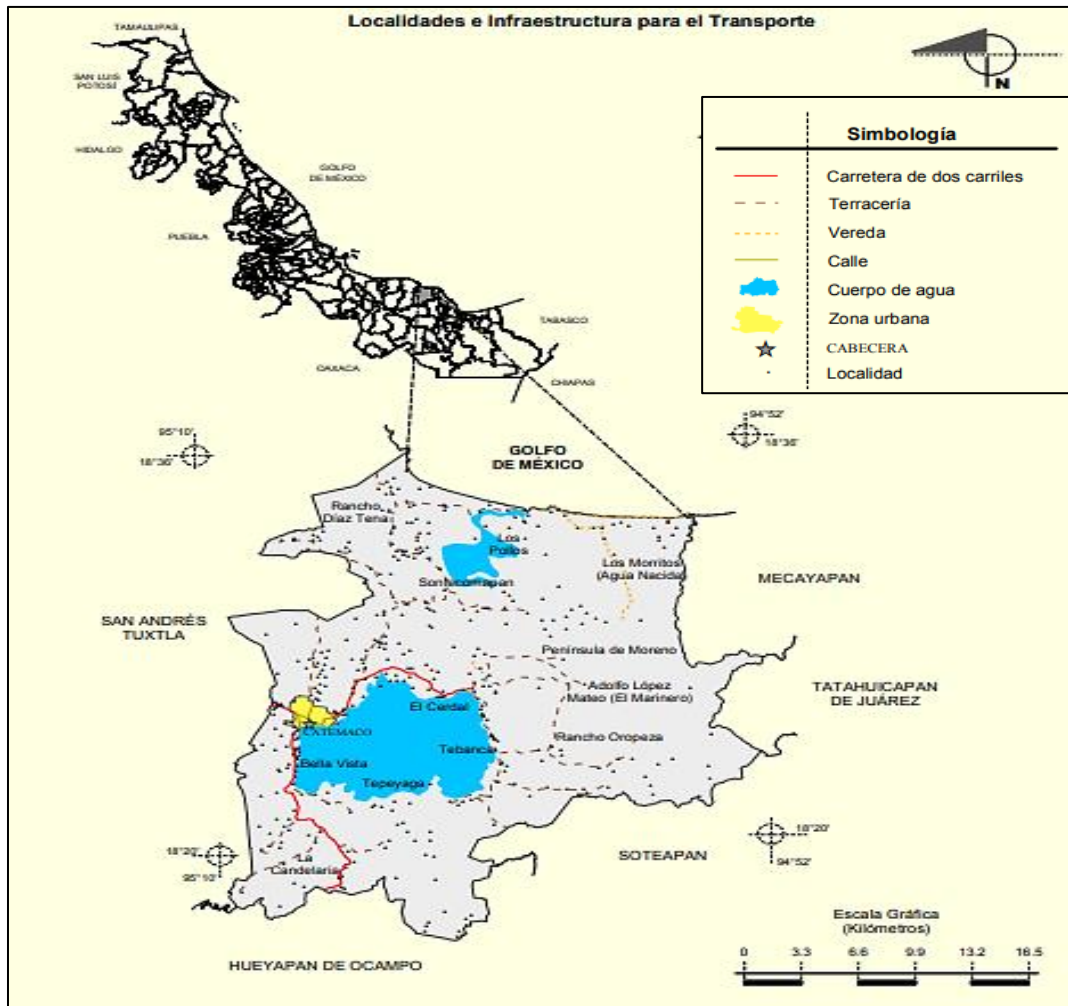


Fig. 28 Mapa del municipio de Catemaco y sus localidades  
Fuente: [178].

El especial interés por la zona de estudio es con el fin de conocer el impacto por microplásticos que recibe la laguna de Catemaco, así como el ecosistema que se alberga en ella.

Al ser este el principal atractivo turístico del municipio, cada día hay una gran afluencia de personas, por lo que se genera un aumento en la presencia de residuos en la laguna y cerca de ella, a esto se suman varios factores que provocan una mayor contaminación por basura plástica como el arrastre de estos por las escorrentías de las lluvias, mal manejo de RSU, mala gestión de la red de alcantarillado público y la falta de educación ambiental por parte de los ciudadanos, por mencionar algunas.

## 2. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Actualmente México no cuenta con una Norma Oficial Mexicana (NOM) o Norma Mexicana (NMX) que establezca una metodología para el análisis de microplásticos en agua, sedimento o biota, por lo que tampoco hay límites permisibles de referencia sobre la cantidad máxima que deberían encontrarse en los tres medios naturales mencionados anteriormente. Del mismo modo, tampoco existen métodos estandarizados internacionales para la obtención, procesamiento y análisis de microplásticos.

Hoy en día hay diversos estudios que se han realizado en estos ambientes naturales, sin embargo, se realiza sin seguir un método definido por lo que al querer comparar los datos con otros existen algunas variaciones en la metodología y en la forma de representar la concentración de microplásticos encontrados. Por el cual la metodología a seguir para este proyecto es una adaptación de los métodos de estudios que han realizado diferentes autores.

La colecta de muestras de agua, sedimento y Tilapia se llevó a cabo en dos periodos con la finalidad de comparar los datos recabados y además las variaciones que pudieran presentarse debido a la presencia de tiempo meteorológico diferente.

El primer muestreo se realizó en el mes de septiembre de 2020 en un tiempo atmosférico lluvioso, en el cual días anteriores se habían presentado lluvias intensas, el segundo muestreo se realizó en el mes de noviembre en un tiempo climático de calor y ausencia de lluvia.

## 3. MUESTREO DE AGUA

### 3.1 PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo se trazaron a través de dos transectos paralelos cercanos a la fuente con mayor afluencia de residuos, es decir, la mancha urbana con superior número de población se localiza cerca de la laguna de Catemaco, Ver.

Es importante mencionar que la posición geográfica de ambos muestreos fue diferente, ya que por el tipo de transporte que se utilizó (lancha) era imposible coincidir los puntos del primer muestreo con el segundo.

Con el objetivo de generar información complementaria, también se tomaron muestras de agua aproximadamente a mitad de cada transecto con la finalidad de determinar factores fisicoquímicos básicos para caracterizar el cuerpo de agua a estudiar. A continuación, se muestra las posiciones satelitales (Tabla 2), así como la ubicación geográfica en el mapa en cada periodo de muestreo (Fig. 29 y 30).

Tabla 2. Ubicación satelital de los puntos de muestreo correspondientes al primer y segundo periodo.

Transecto	Análisis de microplásticos		Análisis fisicoquímicos	Longitud	Distancia de la orilla al transecto
	Punto inicial	Punto final	coordenada		
<b>PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)</b>					
1	18.414543°, -95.116845°	18.413643°, -95.099416°	18.414036°, -95.107784°	1.89 km	0.33 km
2	18.406559°, -95.098440°	18.407235°, -95.117022°	18.406933°, -95.108433°	1.97 km	1.12 km
<b>SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)</b>					
1	18.412408°, -95.116490°	18.412614°, -95.098954°	18.412382°, -95.108021°	1.86 km	0.52 km
2	18.403861°, -95.098665°	18.403726°, -95.116189°	18.403638°, -95.108517°	1.85 km	1.50 km

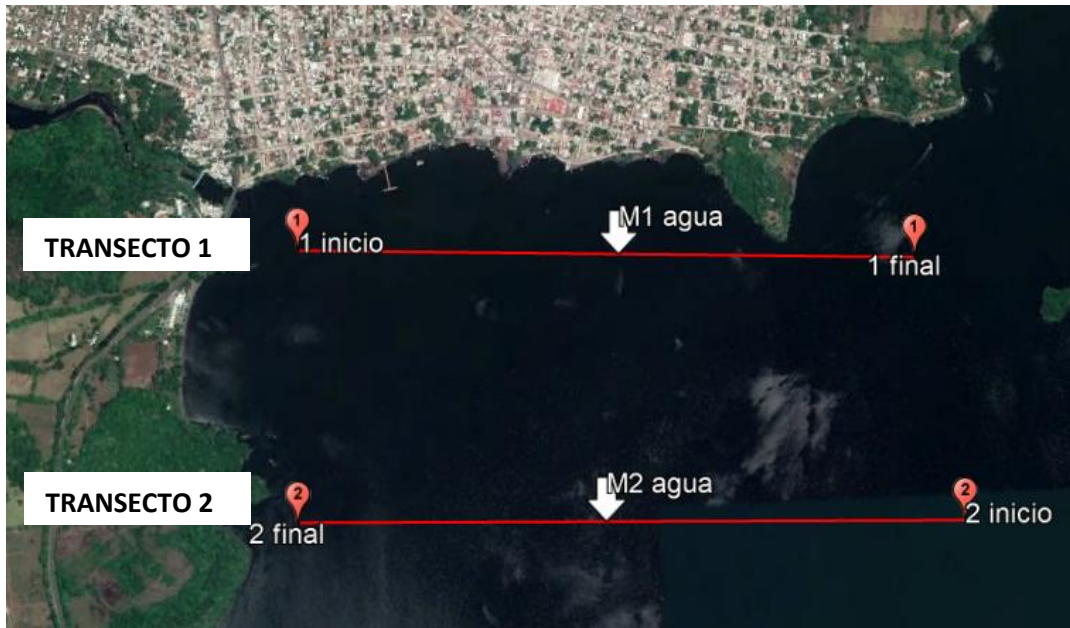


Fig. 29 Ubicación satelital de los puntos correspondientes al primer muestreo.  
Fuente: Generada mediante el uso de Google Earth.



Fig. 30 Ubicación satelital de los puntos correspondientes al segundo muestreo.  
Fuente: Generada mediante el uso de Google Earth.

### 3.3 MÉTODO DE MUESTREO

El muestreo de agua se adecuó a la metodología propuesta por Kovač [72], aunque su método va dirigido a muestreo en mar, también puede aplicarse a la Laguna de Catemaco, ya que no cuenta con poca profundidad y la ausencia de corrientes favorece la realización del muestreo.

Para la ejecución del muestreo varios autores recomiendan hacer uso de una red de neuston o de plancton que es arrastrada sobre la superficie del cuerpo de agua a una velocidad baja y constante.[179]. Debido a la falta de este instrumento, se elaboró una de acuerdo con las dimensiones de una red que utiliza Felis Reig [180] en su trabajo de investigación contando con una abertura de 0.7 x 0.4 metros, a excepción de la longitud, que es de 1.5 metros terminando en forma cónica (Fig. 31), al final tiene un colector con rosca que le permite colocarse o separarse de la red y es en donde toda la muestra quedará almacenada, la abertura de maya que se consideró fue de 1 mm.



Fig. 31 Red elaborada para el muestreo de microplásticos en agua.  
Fuente: Archivo personal.



### 3.4 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

El 5 de septiembre de 2020, a las 09:26 h se colocó la red al final de la lancha dejando 4 metros de separación para evitar la turbulencia de agua producida por el movimiento del motor de la lancha, previo la puesta en marcha se registró la hora de inicio, así como la posición geográfica con la ayuda de un GPS, se arrastró la manta en dirección recta y a mínima velocidad hasta cubrir un tiempo de 30 minutos (Fig. 32). Es importante mantener esta velocidad y duración porque será la que definirá la longitud del transecto y por tanto la superficie muestreada.

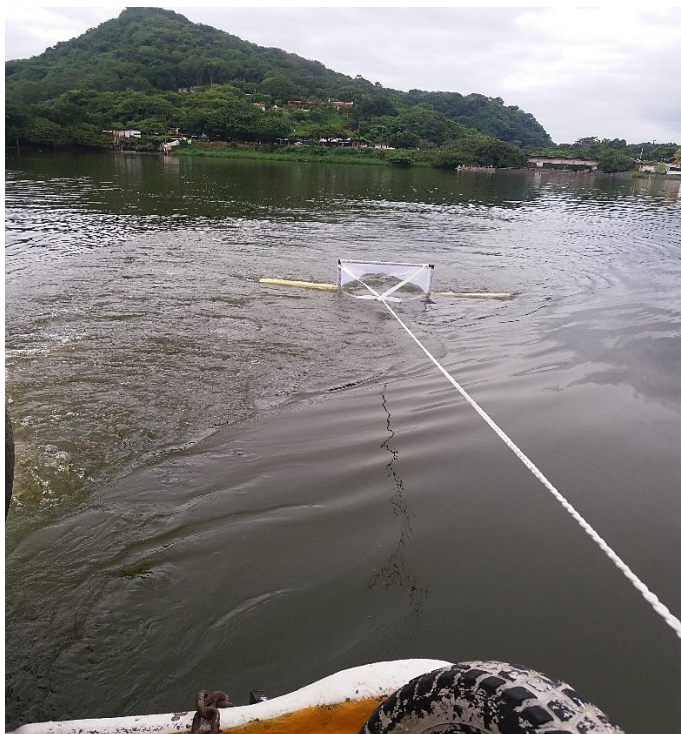


Fig. 32 Arrastre de la red en línea recta para la obtención de la muestra.

Fuente: Archivo personal.

Una vez se observó que ya se había recorrido la mitad del transecto, se procedió a tomar la muestra de agua para análisis fisicoquímicos con una botella de plástico en dirección contraria a la corriente (Fig. 33), se escribió la ubicación satelital en la hoja de registro, se etiquetó y se preservó en una hielera a una temperatura de 4°C.



Fig. 33 Obtención de la muestra de agua para análisis fisicoquímicos.  
Fuente: Archivo personal.

Concluido el tiempo se detuvo la lancha y se anotó la hora y coordenadas del punto final, seguidamente se recuperó poco a poco manteniendo siempre la boca en vertical y una vez cerca de la embarcación, se levantó la red para enjuagarla desde el exterior con el agua de la laguna en dirección al colector final para concentrar todo lo retenido (Fig. 34).



Fig. 34 Recuperación y enjuagado de la red.  
Fuente: Archivo personal.

Se retiró el colector para extraer la muestra, se depositó en un recipiente de vidrio con alcohol al 70% como preservante (Fig. 35), se rotuló y guardó en una hielera a una temperatura de 4°C. Este procedimiento se ejecutó de igual manera en el segundo transecto.



Fig. 35 Extracción de la muestra depositada en el colector.

Fuente: Archivo personal.

El segundo muestreo se efectuó el día 12 de noviembre de 2020 a las 8:10 h siguiendo el mismo protocolo que en el primer periodo, la diferencia que se observó es que en la superficie había abundante presencia de lirios acuáticos, en comparación con el primer muestreo que se percibió restos de ramas, hojarasca, botellas y envolturas plásticas flotando.

## 4. ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN AGUA

### 4.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS

Tabla 3. Materiales e instrumentos utilizados en el análisis de agua

MATERIALES	INSTRUMENTOS
Placa de Petri de vidrio y de plástico con divisiones	Balanza analítica con precisión de 0.001g
Pinzas	Lupa para el recuento de microplásticos de 10 X
Charolas de aluminio	Lupa para el recuento de microplásticos de 5 X
Contenedores en forma de tubo	
Hoja milimétrica	

### 4.2 PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

La muestra se hizo pasar a través de un tamiz con abertura de malla de 5 mm para limpiarla de residuos más grandes que en su mayoría estaba compuesta por materia orgánica, las muestras que contenían mayor abundancia fueron las obtenidas en el mes de septiembre. La fracción que atravesó el tamiz se colocó en una charola de aluminio en donde se limpió nuevamente de residuos orgánicos y se tamizó en una malla de 1mm (Fig. 36), se cubrió con una tela para evitar su contaminación y se dejó secar a temperatura ambiente.



Fig. 36 Muestra de agua tamizada y limpia de residuos orgánicos grandes.

Fuente: Archivo personal.

### 4.3 CONTEO E IDENTIFICACIÓN VISUAL DE MICROPLÁSTICOS

De cada muestra se extrajeron los microplásticos visibles con ayuda de pinzas, cada uno de ellos se contabilizó, midió la longitud y se clasificó de acuerdo con las categorías propuestas por Kovač y Do Sul [72], [123] en fragmentos (partes microscópicas de un macroplástico), fibras (filamentos microscópicos derivados de ropa o artes de pescas), pellets (cilindros diminutos de resina virgen), gránulos (esferas microscópicas elaboradas con polietileno) y microplástico espumado (espuma de poliestireno); mientras las categorías que se utilizaron para los colores fueron: transparente, blanco, rojo, naranja, azul, negro, gris, verde, amarillo, vino, celeste, café, rosado y morado. En cuanto a los tamaños se consideró el rango de 1mm a 5 mm [71].

Con ayuda de la lupa de 10x y 5x se observó la muestra para evitar la discriminación de partículas más pequeñas (Fig. 37), los microplásticos aislados se colocaron en una placa de Petri y previamente se pesó de acuerdo con los diferentes grupos asignados (Fig. 38), escribiendo cada dato en la hoja de registro correspondiente.

Una vez concluido, se guardaron los microplásticos en tubos con tapa de rosca y se etiquetó para facilitar su identificación.



Fig. 37 a) Extracción de partículas con pinzas, b) observación con ayuda de la lupa de 10x y 5x.

Fuente: Archivo personal.

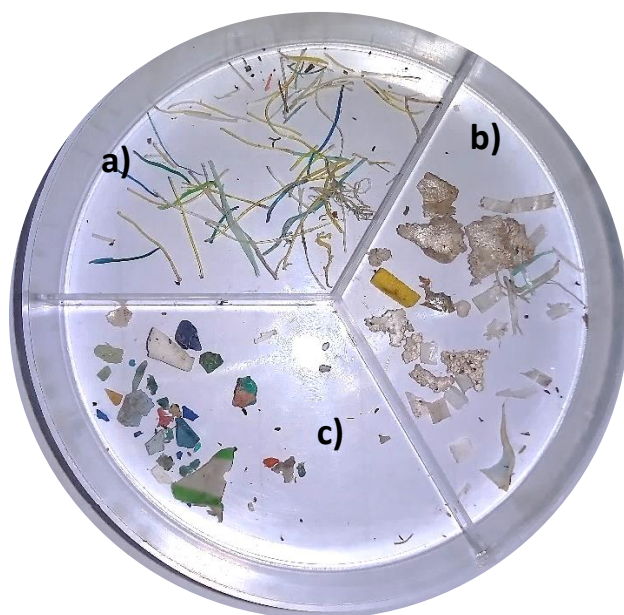


Fig. 38 Separación de fragmentos microplásticos a) fibras, b) espuma y películas, c) fragmentos.  
Fuente: Archivo personal.

#### 4.4 PROTOCOLO DE PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN

El área de trabajo se limpió con un papel humedecido con agua destilada para retirar el polvo y microfibras provenientes del aire ambiente que sedimentan en la superficie. Al momento del análisis y observación de las muestras, se evitó usar vestimenta que desprendiera algún tipo de microfibra con el movimiento.

Como medida de control se colocó una placa de Petri con agua destilada cerca de las muestras a analizar y por último se observó con una lupa de 10x para examinar la presencia de microfibras que pudieran caer en la superficie y con ello contaminar las muestras a analizar. Cabe mencionar que hubo poca presencia de microfibras delgadas de color blanco, por tanto cuando en la muestra se observaba alguna con las mismas características se descartaban, este método se realizó con cada una de las muestras conforme a lo recomendado por Manrique [85].

## 4.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA

### 4.5.1 MATERIALES, INSTRUMENTOS Y REACTIVOS

Tabla 4. Materiales e instrumentos utilizados en el análisis físicoquímico de agua.

MATERIALES	INSTRUMENTOS
Vaso de precipitado de 200 ml	Medidor portátil de pH, Ec y Tds HI98129, HANNA Instruments
Embudo de vidrio	Medidor de DQO y fotómetro multiparámetro HI 83099, HANNA Instruments
Papel filtro	Medidor de cloro y turbidez de sobremesa que cumple con la EPA - HI83414, HANNA Instruments
Celdas de vidrio con tapa con capacidad de 10 ml	
Micrométrica de vol. variable de 100 a 1000 microlitros	
Puntas para micropipeta	
tijeras	
Piseta	
Agua destilada	

Tabla 5. Reactivos utilizados en el análisis físicoquímico de agua.

REACTIVOS
Estándares de calibración de turbidez AMCO: <0.1 NTU, 15 NTU, 100, 750 NTU and 2000 NTU
Solución buffer de referencia pH 7, Golden Bell
Kit químico para pruebas de dióxido de carbono HI3818, HANNA Instruments
Test kit de nitrato HI3874, HANNA Instruments
Kit químico de pruebas para fosfato HI3833, HANNA Instruments

### 4.5.2 DETERMINACIÓN DE pH y CONDUCTIVIDAD

Las muestras obtenidas de la laguna se retiraron de la hielera y se extrajeron 200 ml en un vaso de precipitado para dejar reposar sobre la mesa de trabajo y se templaron hasta alcanzar la temperatura ambiente y así proceder con el análisis.

Mientras las muestras se entibiaban se efectuó la calibración del medidor portátil sumergiendo el electrodo en una solución buffer de pH 7 (Fig. 39), en automático la pantalla muestra el valor de pH y se procede a confirmar la calibración, posteriormente se cambia al modo de medición para seleccionar pH y comenzar con la lectura de las muestras, de inmediato, se cambió el modo para leer la Conductividad eléctrica (CE). Los resultados se anotaron en las hojas de registro correspondientes a cada muestra.

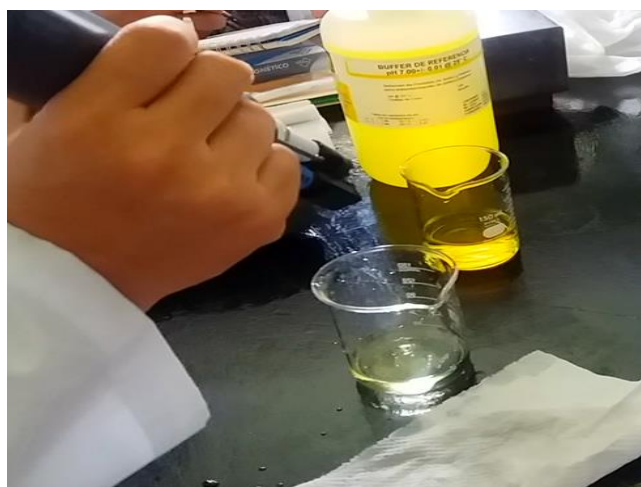


Fig. 39 Calibración del medidor portátil de HANNA Instruments.  
Fuente: Archivo personal.

#### 4.5.3 DETERMINACIÓN DE COLOR VERDADERO Y COLOR APARENTE DEL AGUA

El análisis se inició con la filtración de 20 ml de la muestra 1 y 2 con ayuda de un papel filtro Whatman con una abertura de membrana de 0.45 micrómetros.

Se utilizó el fotómetro multiparamétrico en el método de color de agua, para ello se ocuparon un total de 3 celdas por muestra, en la celda 1 se añadieron 10 ml de agua destilada el cual funcionará como blanco ya que no posee ninguna impureza, se colocó la celda en el equipo y se procedió a leer el blanco, posteriormente se añadieron 10 ml de la muestra tal cual se tomó de la laguna a una celda, lo leído corresponde al color aparente, por último se añadieron 10 ml del agua que previamente fue filtrada y la lectura es el color verdadero (Fig. 40).



El procedimiento antes mencionado se llevó a cabo en las muestras del primer y segundo muestreo y es el que viene indicado en el manual del fotómetro multiparamétrico de la marca HANNA, el análisis se realizó por duplicado para verificar y comparar los datos, sin embargo, no hubo ninguna variación.



Fig. 40 a) análisis de color verdadero, b) Fotómetro multiparamétrico dando lectura de color verdadero.

Fuente: Archivo personal.

#### 4.5.4 DETERMINACIÓN DE NITRATOS ( $\text{NO}_3^-$ )

Siguiendo la metodología descrita por el manual del Test kit de nitrato HI3874 de HANNA Instruments se agregó a la celda 10 ml de la muestra en conjunto con el contenido del sobre del reactivo químico, se agitó vigorosamente por 1 minuto hasta disolver por completo el polvo después se dejó reposar por 4 minutos para que se presente la reacción (Fig. 41).

Es un método colorimétrico para determinar la concentración de nitrato en muestras cuyo intervalo es de 0 a 50 mg/l (ppm) en su forma molecular de nitrato de nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ - N). Pasado el tiempo se vierte en un cubo de comparación de color para facilitar la determinación, entre más intenso es el color mayor concentración hay, por el contrario, cuando hay ausencia de color no hay presencia de nitratos en la muestra.



Fig. 41 Comparación de la muestra con la escala de color.  
Fuente: Archivo personal.

#### 4.5.5 DETERMINACIÓN DE FOSFATOS ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Se empezó por añadir 10 ml de muestra a la celda de plástico seguido del sobre del reactivo para mezclar en forma de círculos, se dejó reaccionar por 1 minuto y se vertió en un cubo con escala de colore para su comparación (Fig. 42).

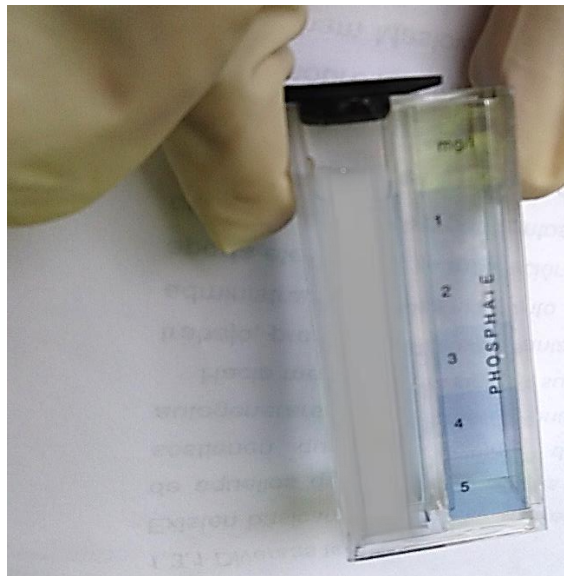


Fig. 42 Comparación de la muestra con la escala de color de fosfatos.  
Fuente: Archivo personal.

#### 4.5.6 DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

El kit para el análisis de CO<sub>2</sub> proporciona un vaso de plástico aforado en el cual se llevará a cabo la reacción, para ello se enjuagó el contenedor y se añadieron 5 ml de la muestra de agua a temperatura ambiente y se colocó una gota de reactivo para mezclar girando el vaso en pequeños círculos, en este punto la instrucción indica que si al combinarse se torna de un color rosa o roja la concentración de CO<sub>2</sub> es 0 mg/l.

Con las muestras que resultaron incoloras se continuo con la determinación, mediante el uso de una jeringa graduada propia del kit se colocó en la solución titulante levantando el émbolo para extraerla y colocarlo en la marca de 0 ml.

Se cubrió el recipiente cuya tapa posee un orificio en el que se embona la jeringa para añadir la solución cuidadosamente gota a gota y a la vez mezclando en forma de círculos hasta que se torne de un color rosa. Para la obtención de los resultados es necesario aplicar un factor que es multiplicar los mililitros gastados de la solución por 100, el resultado es expresado en mg/l (ppm).

Una de las muestras del segundo muestreo se tornó de un color rosa claro al añadir la solución indicadora, de acuerdo con las indicaciones esta tendría una concentración de 0 mg/l, sin embargo, con el fin de mejorar la precisión, se vertió 10 ml de muestra y se añadió 1 gota del indicador y de igual manera se pintó de color rosa por tanto en esta muestra no hay presencia de CO<sub>2</sub> (Fig. 43).



Fig. 43 coloración de la muestra al ser añadida la gota de reactivo indicador.

Fuente: Archivo personal.

#### 4.5.7 DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ

El equipo a utilizar mide dos variables que es el cloro libre y la turbidez, para ello, se selecciona la determinación a realizar, en este caso es turbidez.

Antes de iniciar con el análisis se procede a la calibración del equipo con las soluciones estándares de calibración suministradas a 5 puntos: <0,1 NTU, 15 NTU, 100NTU, 750 NTU y 2000 NTU (Fig. 44).

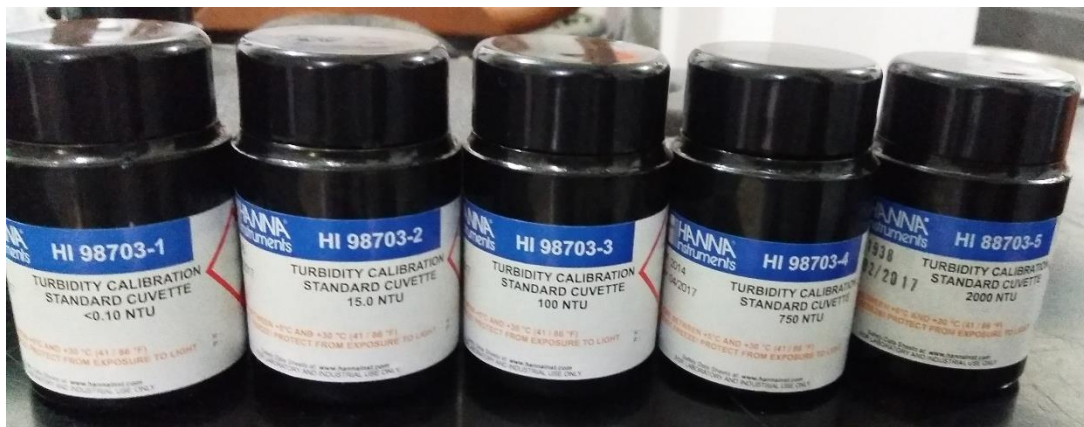


Fig. 44 Soluciones estándares de calibración de turbidez.

Fuente: Archivo personal.

Se inicia calibrando desde el punto más bajo hasta el más alto, antes de insertar la celda en el equipo se añade una gota de silicón y se limpia con un paño, se coloca la celda dentro del equipo cerciorándose de que la marca de la tapa de la celda coincida con el del equipo, una vez alineado se introduce de forma cuidadosa y en un solo momento evitando girar o mover la celda. Una vez calibrado el primer punto, en automático el turbidímetro pedirá el siguiente punto hasta terminar con el de 2000 NTU, concluida la calibración se guarda y se procede a leer las muestras.

Se enjuaga la celda con un poco de agua de la muestra y se procede a colocar 10 ml con ayuda de una micropipeta, esto se hizo por duplicado para cada muestra, se añade una gota de silicón, se limpia y se introduce en el equipo para la lectura, obtenido el resultado nuevamente se coloca la siguiente celda. Los datos deben ser reproducibles y no debe haber mucha variación en los resultados de la misma muestra (Fig. 45).

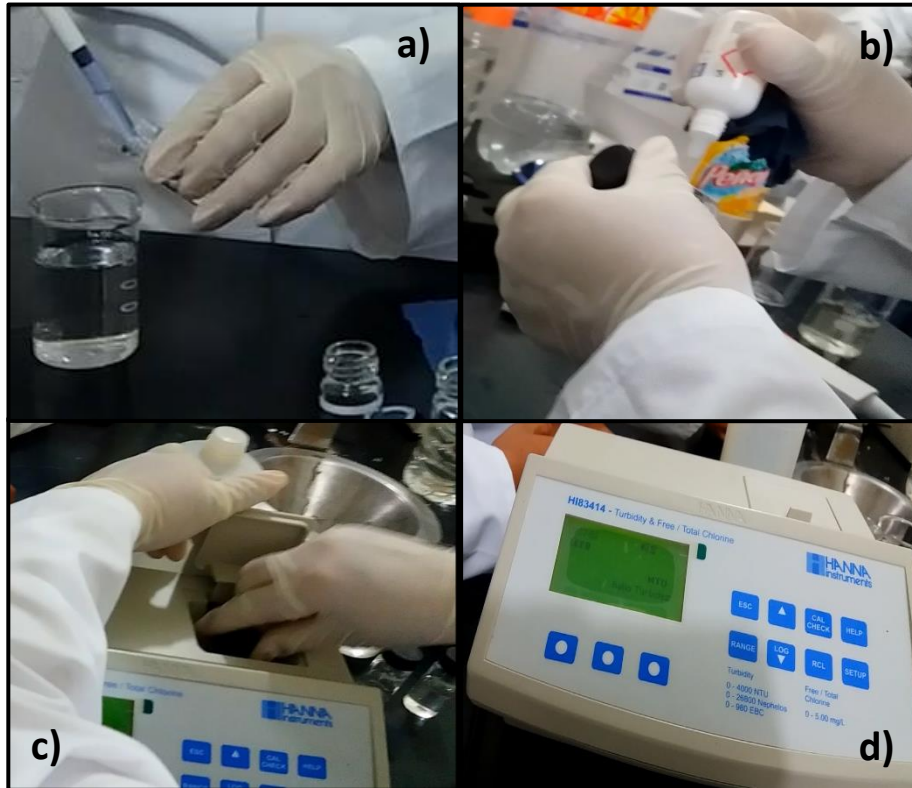


Fig. 45 a) llenado de la celda con la muestra, b) limpieza de la celda, c) colocado de la celda en el equipo y d) lectura de la muestra.  
Fuente: Archivo personal.

## 5. MUESTREO DE SEDIMENTO

### 5.1 PUNTOS DE MUESTREO

El muestreo de sedimento al igual que las otras muestras se realizó en dos periodos, el primero se llevó a cabo en el mes de septiembre de 2020 y el segundo en noviembre del mismo año.

Las muestras fueron obtenidas cerca de la ribera del lago de Catemaco acumulando un total de 12 muestras en cada muestreo, en el segundo periodo se trató que la ubicación fuera lo más cercano al de las primeras recolectadas. Los puntos de muestreo se establecieron siguiendo la metodología de Días y Sarria [83], por lo que cada ubicación fue generada durante la realización del muestreo. A continuación, se muestra en la (Tabla 6) las posiciones satelitales, así como la ubicación geográfica en el mapa en cada periodo de muestreo (fig. 46 y 47).

Tabla 6. Puntos de recolección de muestras de sedimento correspondientes al primer y segundo muestreo.

PUNTOS DE MUESTREO	TRANSECTO 1	PUNTOS DE MUESTREO	TRANSECTO 2	PUNTOS DE MUESTREO	TRANSECTO 3	PUNTOS DE MUESTREO	TRANSECTO 4
<b>PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)</b>							
1	18.416554, -95.117260	4	18.416767, -95.114258	7	18.416646, -95.110471	10	18.416564, -95.107358
2	18.416533, -95.116784	5	18.416982, -95.113857	8	18.416856, -95.110007	11	18.416640, -95.106881
3	18.416662, -95.116336	6	18.417124, -95.113402	9	18.416772, -95.109524	12	18.416725, -95.106422
<b>PRIMER MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)</b>							
1	18.416479, -95.117189	4	18.416766, -95.114210	7	18.416668, -95.110445	10	18.416575, -95.107325
2	18.416546, -95.116778	5	18.416984, -95.113805	8	18.416896, -95.109815	11	18.416656, -95.106835
3	18.416646, -95.116319	6	18.417121, -95.113338	9	18.416738, -95.109414	12	18.416748, -95.106373



Fig. 46 Puntos correspondientes al primer muestreo.  
Fuente: Generada en Google Earth.



Fig. 47 Puntos correspondientes al segundo muestreo.  
Fuente: Generada en Google Earth.

## 5.2 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

El 5 de septiembre de 2020, a las 09:26 h se inició con el trazado del transecto el cual consistió en desenrollar una cuerda con una medida de 100 metros a lo largo de la orilla de la laguna, posteriormente se ubicaron los 3 puntos de muestreo que sería tomada a los 0 m, 50 m y 100 m, para ello, se colocó un marco de madera de forma cuadrada con medidas de 50 centímetros por cada lado, lo que equivale a un área muestreada de 0.25 metros cuadrados (Fig. 48).



Fig. 48 Marco de madera colocado en un punto de muestreo.  
Fuente: Archivo personal.

Cuando había puntos que presentaban hojarascas o restos orgánicos, se limpiaban con cuidado y se procedía a extraer el sedimento superficial dentro del cuadrante hasta llegar a 5 centímetros de profundidad con ayuda de una pala de metal, las muestras se colocaron en bolsas de plásticos con su respectiva etiqueta (Fig. 49), en cada punto de muestreo se registró la ubicación satelital mediante un GPS, así como la fecha y hora. Este procedimiento se realizó en cada una de las estaciones al igual que en el segundo muestreo.



Fig. 49 Recolección de muestra dentro del marco de madera.  
Fuente: Archivo personal.

Cabe mencionar que durante todo el recorrido por la orilla del río se percató que en gran parte había presencia de macro y microplásticos en especial en el área en donde se encuentra el desagüe de la red de alcantarillado público del municipio (Fig. 50).

Incluso en el área de recolección de las muestras algunas veces carecía de microplásticos, pero en otras zonas del mismo transecto sí había, no obstante, se debía respetar los puntos a muestrear pues se va siguiendo una metodología recomendada por un autor y no de forma selectiva.



Un factor que complicó un poco la realización del muestreo fue la presencia de lanchas varadas en la mayor parte de la orilla por tal motivo se trató que ningún punto de muestreo pudiera ubicarse sobre una lancha optando por recorrer espacios libres y en otras ocasiones la cuerda pasaba por encima de ellas.



Fig. 50 Avistamiento de residuos que se encuentran cerca de la orilla de la laguna de Catemaco.

Fuente: Archivo personal.

## 6. ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTO

### 6.1 MATERIALES E INSTRUMENTOS

Tabla 7. Instrumentos y materiales utilizados para el análisis de sedimento.

MATERIALES	INSTRUMENTOS
Vasos de precipitado de 250 ml y 400 ml	Balanza analítica con precisión de 0.001 g
Matraz Erlenmeyer de 250 ml y 500 ml	Balanza granataria
Agitador de vidrio	Placa de agitación

Agitador magnético	Lupa para el recuento de microplásticos de 10 X
Vidrio de reloj	Lupa para el recuento de microplásticos de 5 X
Placa de Petri de vidrio	
Placa de Petri de plástico con divisiones	
Pipeta de 10 ml	
Perilla de seguridad	
Cuchara de porcelana	
Embudo de vidrio	
Matraz de balón con fondo plano aforado a 1L	
Pinzas	
Charolas de aluminio	
Contenedores en forma de tubo	
Cinta masking tape	
Tamiz de 5 mm	
Tamiz de 1 mm	
Hoja milimétrica	

## 6.2 PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

Con el fin de separar las partículas de sedimentos de gran tamaño, así como de macroplásticos o materia orgánica es necesario llevar a cabo un proceso de separación física mediante el tamizado de la muestra, primeramente, se vierte la muestra en una malla de 5 mm, en donde la fracción retenida de plásticos pertenecen a la clasificación de macroplásticos (Fig. 51).



Fig. 51 Tamizado de las muestras con la malla de 5 mm.  
Fuente: Archivo personal.

Después de ello, la muestra es nuevamente tamizada a través de una malla de 1 mm de abertura y la fracción retenida corresponde al rango de tamaños en el cual se clasifican los microplásticos (1 a 5 mm), mientras que la porción que atravesó la malla pertenece a las partículas finas como las arcillas y también elimina la presencia de nanoplasticos en la muestra.

Debido a que las muestras eran grandes, se optó extraer submuestras de 200 g para cada una de ellas utilizando el método de cuarteo, posteriormente se colocaron en charolas de aluminio y se cubrió con una tela para evitar su contaminación, pero al mismo tiempo permitiera la aireación y se secaron a temperatura ambiente (Fig. 52). El tiempo de secado fue variable en ambos periodos, ya que en el primero hubo más presencia de sol por lo cual secó en 5 días, en comparación con el segundo en donde hubo más presencia de lluvias y humedad por lo cual demoró 10 días en secar.



Fig. 52 a) disminución de la muestra por método de cuarteo, b) secado de la muestra.

Fuente: Archivo personal.

### 6.3 ELIMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

Con el fin de eliminar la materia orgánica que no pudo ser separada a pesar del tamizado, se procedió a eliminarla para que no cause interferencia en el análisis o que pueda enmascarar la cantidad real de microplásticos, para ello, se hace uso del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 30% de acuerdo con lo descrito por Manrique [85].

Se tomaron 150 gramos de la muestra (Fig. 53) y seguidamente se agregaron dosis de 10 ml de  $H_2O_2$  mezclando con un agitador de vidrio, se siguió añadiendo de 10 en 10 ml hasta que la muestra dejara de presentar reacción.



Fig. 53 a) y b) pesado de la muestra.

Fuente: Archivo personal.

La cantidad añadida fue variable y osciló entre los 30 ml y 50 ml, esta variación se debe a que algunas muestras presentaron mayor cantidad de materia orgánica que otras (Fig. 54).



Fig. 54 a) adición de  $H_2O_2$ , b) oxidación de la materia orgánica

Fuente: Archivo personal.

Tras haber realizado este proceso las muestras tratadas se cubrieron y dejaron secar nuevamente a temperatura ambiente por una semana hasta que se evaporara todo el reactivo.

#### 6.4 CONTEO E IDENTIFICACIÓN VISUAL DE MICROPLÁSTICOS

El principal fundamento de la extracción de los microplásticos consiste en la separación de la arena con las partículas plásticas que se da debido a la diferencia de densidad que existe entre ellas, para ello es necesario aumentar la densidad del medio para que los microplásticos floten en la superficie y sea más fácil su obtención.

Para ello se preparó una solución salina saturada a través de la disolución de 359 g de NaCl en 2 L de agua destilada, se agitó en una placa de agitación magnética por aproximadamente 1 hora, cuando la sal se había disuelto por completo (Fig. 55).

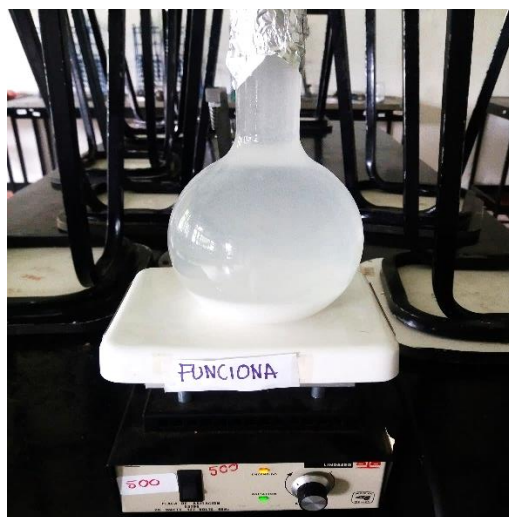


Fig. 55 Agitación de la solución salina  
Fuente: Archivo personal.

A continuación, se pesaron 50 g de cada muestra en una balanza analítica, se añadieron 200 ml de la solución saturada de NaCl y se agitó durante 2 min en una placa de agitación magnética (Fig. 56).



Fig. 56 a) adición de la solución salina, b) agitación de la muestra.

Fuente: Archivo personal.

Posterior a la agitación, se dejaron reposar durante 5 h para permitir que los microplásticos flotaran en la superficie de la disolución y que las arenas finas sedimentaran al fondo (Fig. 57), el método utilizado fue el que Cabrera Dorta expone en su investigación [84].



Fig. 57 a) muestras reposadas, b) microplásticos flotando en la superficie

Fuente: Archivo personal.

Finalmente, el sobrenadante se filtró a través de un tamiz de 1mm para extraer las partículas de plásticos y comenzar con su conteo, medición, observación y clasificación en las categorías propuestas por Kovač y Do Sul (Fig. 58).



Fig. 58 a) filtración de la muestra, b) extracción de microplásticos.

Fuente: Archivo personal.

Sin embargo, con la concentración de la solución salina no todos los microplásticos flotaron en la superficie, de tal forma que algunos quedaron sedimentados en conjunto con las arenas, por lo que se procedió a colocarlo en una charola de aluminio para extraer los microplásticos (Fig. 59). No obstante, como la muestra contenía gran cantidad de líquido se dificultó la observación con la lupa de 10X, por consiguiente, se cubrió y dejó secar a temperatura ambiente para su posterior observación.



Fig. 59 Colocación de sedimento en charolas de aluminio para su observación.

Fuente: Archivo personal.

Tras haber obtenido esta experiencia en el primer análisis, con las muestras obtenidas en el segundo muestreo se prefirió elaborar una nueva solución duplicando la cantidad de NaCl y disolviendo en solo 1 litro de agua destilada, conforme a lo experimentado por Besley [86]. De esta manera la presencia de partículas flotando fue más notorio, aunque de igual manera se vertió el sedimento en charolas de aluminio para su observación con lupa para evitar excluir algunas partículas que hayan quedado retenidas entre las arenas y se procedió a su conteo de la misma manera que en el primer muestreo.

Para cada muestra se pesaron los microplásticos extraídos conforme a la clasificación a la que pertenecían, así mismo, se registró el tamaño, color y forma de cada fragmento (Fig. 60).

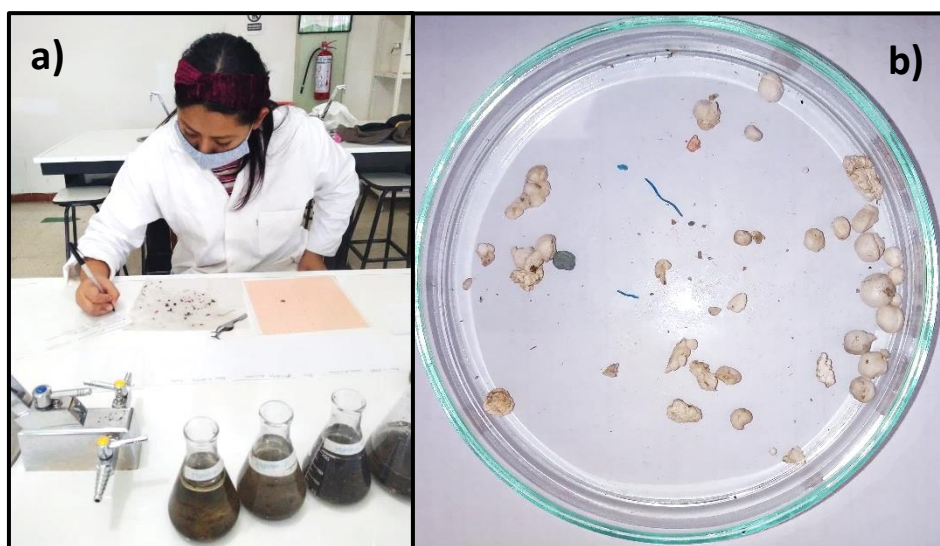


Fig. 60 a) conteo y medición de las partículas, b) separación de microplásticos.

Fuente: Archivo personal.

Con el fin de evitar la contaminación de las muestras, se llevó a cabo el mismo protocolo que se utilizó en el análisis de agua descrito en el apartado 4.4.



## 7. ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS EN TRACTO DIGESTIVO DE TILAPIA (*Oreochromis aureus*)

### 7.1 OBTENCIÓN DE EJEMPLARES DE TILAPIA

La muestra de Tilapia (*Oreochromis aureus*) fueron adquiridos en el mercado principal del municipio de Catemaco (Fig. 61) primeramente, se cercioró que la procedencia del espécimen fuera la laguna de Catemaco, se obtuvieron 6 individuos adultos en el mes de septiembre y 6 en el mes de noviembre del año 2020, se trasladaron en una hielera a 4°C al laboratorio de Química del Instituto Tecnológico superior de San Andrés Tuxtla para el análisis de microplásticos.



Fig. 61 Tilapia (*Oreochromis aureus*).  
Fuente: Archivo personal.

### 7.2 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN BIOLÓGICA

Antes de comenzar con el registro de la información biológica de cada individuo de tilapia, se realizó un lavado con el fin de eliminar residuos que se hayan adherido a la piel o aletas con el objeto de evitar la contaminación del contenido estomacal a extirpar [77].

Consecutivamente, se obtuvieron los datos biológicos como la longitud total, longitud estándar y el peso (Fig. 62) [82].



Fig. 62 a) Medición y b) pesaje de Tilapia (*Oreochromis aureus*).  
Fuente: Archivo personal.

### 7.3 EXTRACCIÓN Y TRATAMIENTO DEL TRACTO DIGESTIVO

La disección de los organismos se realizó mediante un corte longitudinal del ano hasta la boca con un cúter tipo bisturí, se extrajo todos los órganos internos y previamente se colocó en una capsula de porcelana de peso conocido (Fig. 63), para pesar el contenido en una balanza granataria.

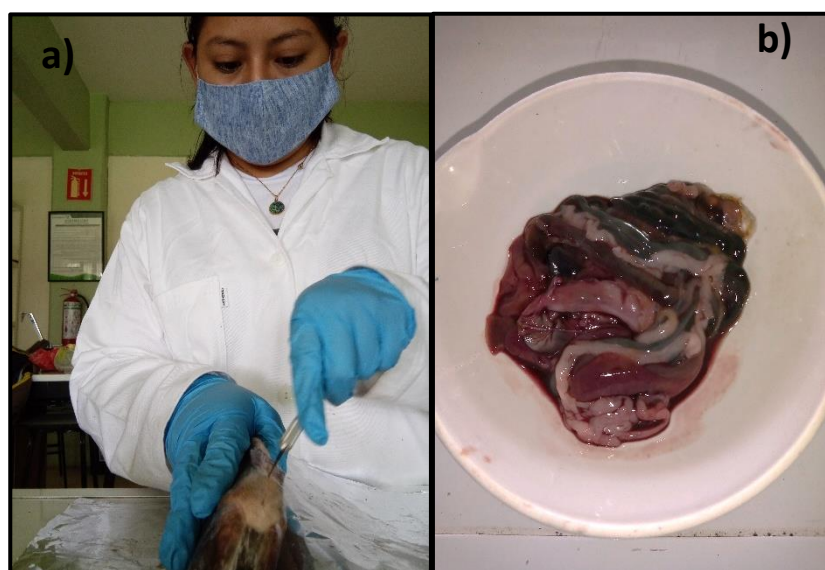


Fig. 63 a) disección de la Tilapia, b) extracción de los órganos internos.  
Fuente: Archivo personal.

Con el fin de eliminar la materia orgánica compuesto por el estómago, intestino, contenido estomacal y contenido intestinal fueron colocados en vaso de precipitado de 50 ml con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10% de concentración, se mezcló, se cubrió y se dejó reaccionar a temperatura ambiente por 2 semanas (Fig. 64), es necesario enfatizar que las micropartículas plásticas al poseer tamaños microscópicos solo son resistentes ante el 10% de pureza del reactivo, si la concentración aumenta se produce la destrucción de las fibras de nylon y la coloración de los microplásticos se altera.

En el primer periodo de análisis se añadieron 15 ml a cada extracción, sin embargo, se observó después de las 2 semanas que aún había materia orgánica sin degradar, por lo que en el segundo periodo de análisis llevado a cabo en noviembre se añadieron 30 ml para cada una.



Fig. 64 Tratamiento de los órganos internos con NaOH al 10%.

Fuente: Archivo personal.

Pasado el tiempo de reposo, se tamizó el líquido obtenido con una malla de 1mm con el fin de retirar el material orgánico sobrante que no se pudo degradar (Fig. 65), se observó con una lupa de 10X en busca de microplásticos retenidos mayores a 1 mm, sin embargo, no se detectó ninguno.

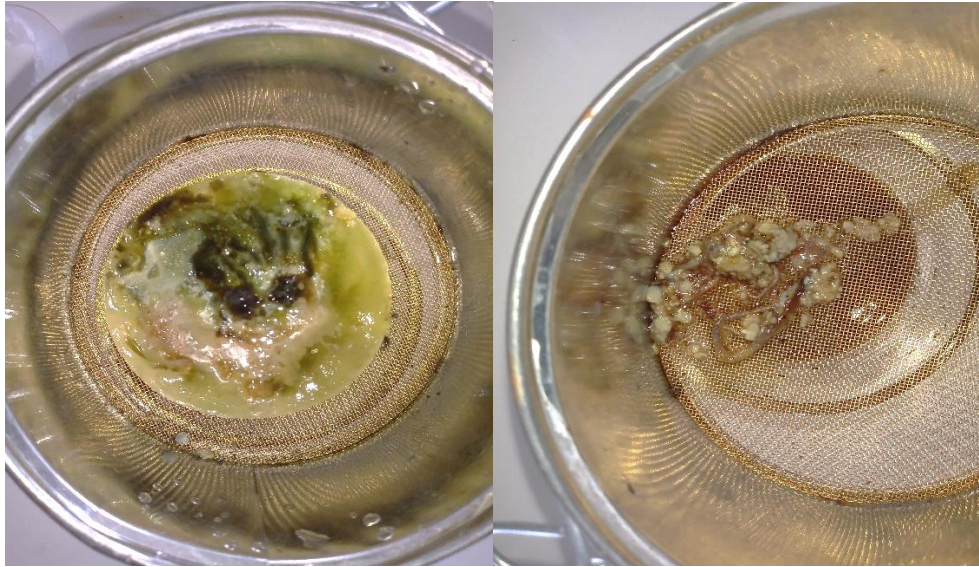


Fig. 65 Tamizado de los restos de materia orgánica.  
Fuente: Archivo personal.

#### 7.4 OBSERVACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS

Se tomó una alícuota del líquido que atravesó el tamiz, se colocó en un porta objetos y se cubrió. Con ayuda de un microscopio óptico previamente calibrado se observaron todas las muestras por duplicado recorriendo la superficie del porta objetos en forma de zigzag, con un aumento de 10X (Fig. 66), se registraron los avistamientos, forma y el color de microplásticos encontrados.

Para el control de la contaminación por fibras presentes en la atmósfera, en todo el proceso de análisis se llevó acabo el protocolo del apartado 4.4, así mismo, toda la metodología descrita se llevó acabo en el segundo periodo de muestreo.



Fig. 66 a) observación de la muestra con microscopio óptico, b) fibra encontrada en muestra.  
Fuente: Archivo personal.

**Capítulo IV  
(PRESENTACIÓN,  
ANÁLISIS E  
INTERPRETACIÓN  
DE RESULTADOS)**

## 1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO

### 1.1 OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA MUESTRAS DE SEDIMENTO

Los resultados presentados corresponden a la caracterización física y cuantitativa de los microplásticos presentes en el sedimento de la orilla de la Laguna de Catemaco Veracruz, llevado a cabo en el mes de septiembre 2020 en tiempo atmosférico de lluvia y en el mes de noviembre 2020 en tiempo atmosférico soleado.

Durante el tiempo de lluvia las muestras estaban acompañadas de restos vegetales y macroplásticos probablemente arrastrados por las corrientes, por el contrario, en tiempo de seca la presencia de residuos vegetales disminuyó considerablemente.

Cabe mencionar que durante el recorrido de cada transecto siempre se observó todo tipo de basura plástica tanto micro como macroplásticos, algunos transectos con mayor abundancia que otros, entre los más comunes, botellas, bolsas, cubiertos plásticos, platos, vasos todos considerados de un solo uso.

En la caracterización física se identificaron seis categorías de acuerdo a Do Sul y Kovač [72], [123]:

- Fragmentos: Partes microscópicas de un macroplástico.
- Fibras: Filamentos microscópicos derivado de ropa o artes de pesca.
- Astillas de pintura: Fracciones irregulares desprendidas de una superficie.
- Pellets: Cilindros diminutos de resina virgen.
- Microplástico espumado: Espumas de poliestireno.
- Películas de plásticos: Fragmentos irregulares de envolturas son delgados y flexibles y generalmente transparentes.

Con respecto al intervalo del tamaño se siguió de acuerdo a lo establecido por la NOAA (1 a 5 mm) correspondiente a los microplásticos grandes, para ello, cada partícula encontrada era medida de acuerdo a su longitud, no obstante, durante la realización del análisis se encontraron partículas mayores a 5 mm debido a que lograron atravesar la malla, esto sucedió en especial con las fibras ya que algunas se encontraban enrolladas y a la hora de extenderlas su longitud aumentaba, sin embargo, a pesar de que la longitud rebasaba el límite se contabilizaron puesto que

su grosor era de 1 mm, esto permitió que atravesaran el tamiz en una posición vertical, por esta razón se verá reflejado en gráficas las partículas que rebasan los 5 mm.

De acuerdo a su forma, la más abundante para los fragmentos, las astillas y películas fue irregular, para el caso de las fibras recta y seguida por la enrollada, para los pellets y microplástico espumado la forma predominante es la esférica.

La clasificación de acuerdo al color fue rosado, blanco, verde, amarillo, azul, naranja, rojo, celeste, transparente, negro, gris, morado, café y vino.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada periodo de muestreo de acuerdo al transecto correspondiente y las muestras que lo componen.

### 1.1.1 PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)

#### TRANSECTO 1

Este transecto presentó un total de 9 partículas de microplásticos, del cual la muestra 1 está compuesta por fibras y la muestra 3 por fibras y astillas de pintura (Fig. 67), mientras que en la muestra 2 no hay presencia.



Fig. 67 Microplásticos encontrados en la a) muestra 1, b) muestra 2.

Fuente: Archivo personal.

#### TRANSECTO 2

Se encontraron un total de 27 partículas en 2 de las 3 muestras, la muestra 4 con presencia de fragmentos, fibras y astillas de pintura, la muestra 6 con fragmentos y fibras (Fig. 68), por otra parte, en la muestra 5 no se hallaron microplásticos.



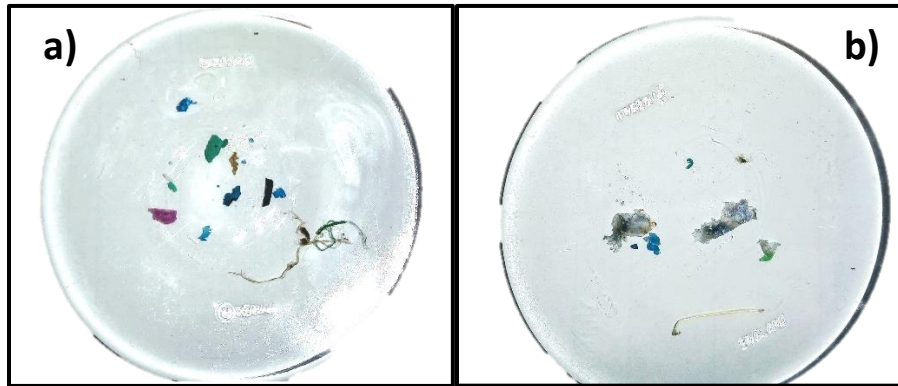


Fig. 68 Microplásticos encontrados en la a) muestra 4, b) muestra 6.  
Fuente: Archivo personal.

### TRANSECTO 3

Se contabilizaron un total de 30 partículas distribuidas en fragmentos, fibras y astillas de pintura en la muestra 7 y 8 (Fig. 69), además en ambas muestras se observaron con la lupa de 10X fibras con un tamaño aproximado de 1 mm, sin embargo, no se pudo contabilizar ya que eran muy delgadas y esto impidió ser obtenidas con la pinza, en la muestra 9 no se hallaron partículas.

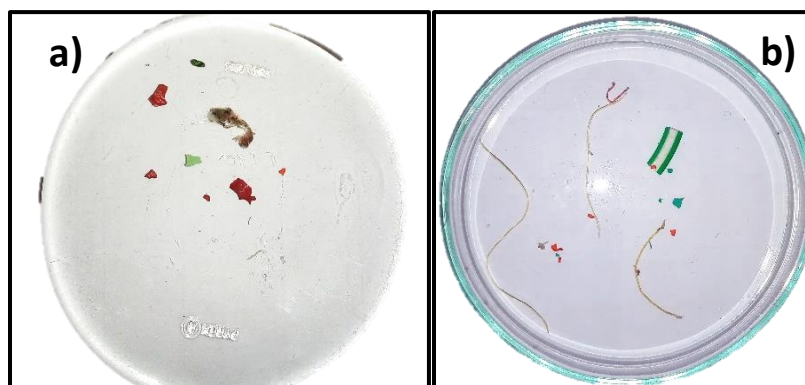


Fig. 69 Microplásticos encontrados en la a) muestra 7, b) muestra 8.  
Fuente: Archivo personal.

### TRANSECTO 4

En este último transecto hubo una mayor cantidad con un total de 56 partículas repartidas en fragmentos, fibras y astillas de pinturas en la muestra 10, en microplástico espumado en la muestra 11, fragmentos, fibras pellets y microplástico

espumado en la muestra 12 (Fig. 70), este último es la que presentó mayor cantidad y se ve relacionada a la cercanía que tiene con el desagüe del alcantarillado público que se descarga en la laguna, además toda el área cercana está lleno de residuos plásticos (Fig. 71).

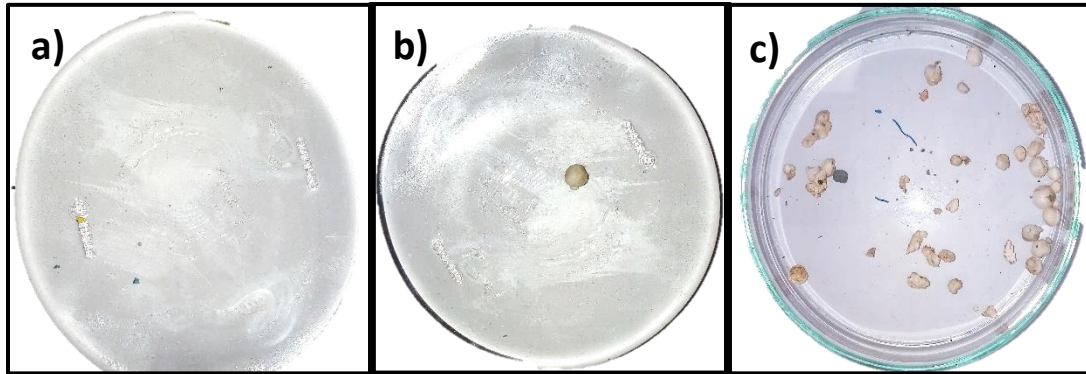


Fig. 70 Microplásticos encontrados en la a) muestra 10, b) muestra 11, c) muestra 12.

Fuente: Archivo personal.



Fig. 71 a) desagüe del alcantarillado público, b) residuos a la orilla de la laguna.

Fuente: Archivo personal.

## 1.1.2 SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)

### TRANSECTO 1

Se extrajeron 33 partículas en total compuestas por fibras en la muestra 2 y por parte de la muestra 3 astillas de pintura y fibras (Fig. 72), a diferencia del primer muestreo en la muestra 1 no se encontraron fragmentos plásticos, cabe mencionar que los puntos de muestreo no fueron los mismos en ambos periodos, su variación se ve reflejada por algunos centímetros en la posición geográfica.



Fig. 72 Microplásticos encontrados en la a) muestra 2, b) muestra 3.  
Fuente: Archivo personal.

### TRANSECTO 2

En comparación con el primer muestreo en este transecto se encontró 5 partículas, además en la muestra 4 no hubo microplásticos siendo ahora la muestra 5 conformada por fragmentos y la 6 por astillas de pintura (Fig. 73).

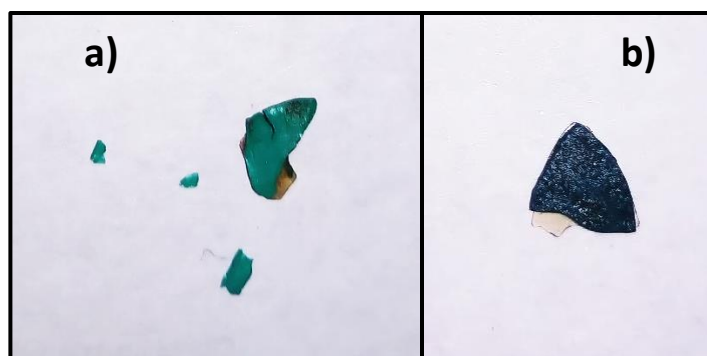


Fig. 73 Microplásticos encontrados en la a) muestra 5, b) muestra 6.  
Fuente: Archivo personal.

### TRANSECTO 3

Al igual que en el primer muestreo la muestra 9 continuó sin presentar partículas plásticas, la muestra 7 está agrupada por fragmentos y fibras, mientras la muestra 8 por fragmentos, fibras, astillas de pintura, y películas de plástico habiendo un total de 52 fragmentos (Fig. 74). En esta zona del transecto es en donde se encuentra la mayor cantidad de lanchas varadas a la orilla de la laguna.

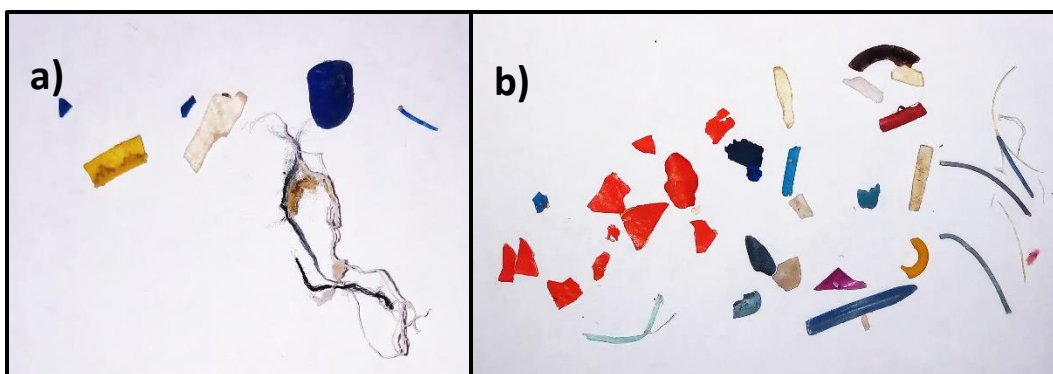


Fig. 74 Microplásticos encontrados en la a) muestra 7, b) muestra 8.  
Fuente: Archivo personal.

### TRANSECTO 4

De la misma manera que en el primer periodo de muestreo se obtuvieron partículas en las 3 muestras recolectadas en el transecto, aunque en esta ocasión una cantidad menor con un total de 42, la disminución podría estar relacionada al tiempo atmosférico en que se realizó ya que eran días soleados sin presencia de lluvias y por tanto una disminución en las escorrentías que emerge por el alcantarillado público. La muestra 10 está compuesta por astillas de pintura, la 11 por fibras y espumas y por último la 12 con fragmentos, y microplástico espumado (Fig. 75).



Fig. 75 Microplásticos encontrados en la a) muestra 10, b) muestra 11 y c) muestra 12.

Fuente: Archivo personal.

### 1.1.3 PRESENCIA DE MACROPLÁSTICOS EN LAS MUESTRAS

En ambos periodos de muestreo algunas muestras presentaron fragmentos plásticos mayores a 5 mm los cuales fueron retenidos en la malla al ser tamizados, estos corresponden a la fracción de macroplásticos, siendo esta una de la principal procedencia de los microplásticos. Estos fragmentos fueron aislados de la muestra debido a que pertenece a otra clasificación, por tal motivo no se caracterizó ni contabilizó, solo se capturaron evidencias de su presencia. A continuación, se muestran imágenes de los macroplásticos encontrados en ambos periodos de muestreo (Fig. 76 a 80).

### PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)

#### SEDIMENTO

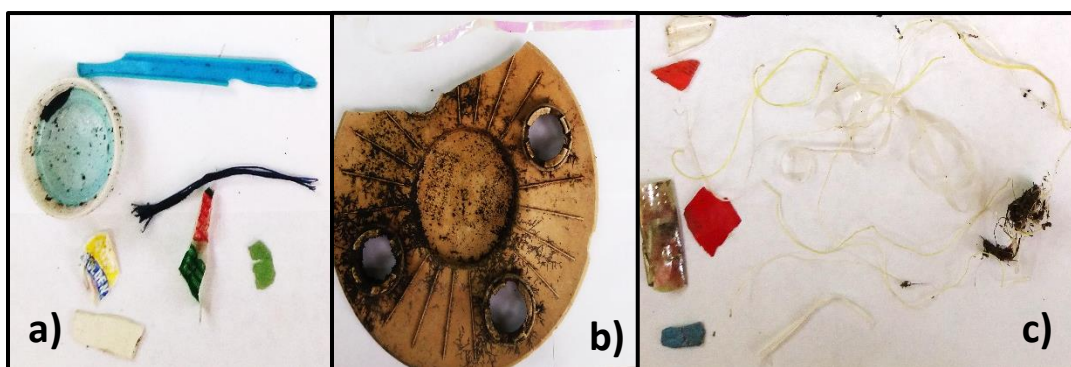


Fig. 76 Macroplásticos encontrados en la a) muestra 7, b) muestra 8 y c) muestra 9.

Fuente: Archivo personal.



Fig. 77 Macroplásticos encontrados en la muestra 12.  
Fuente: Archivo personal.

**SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)**

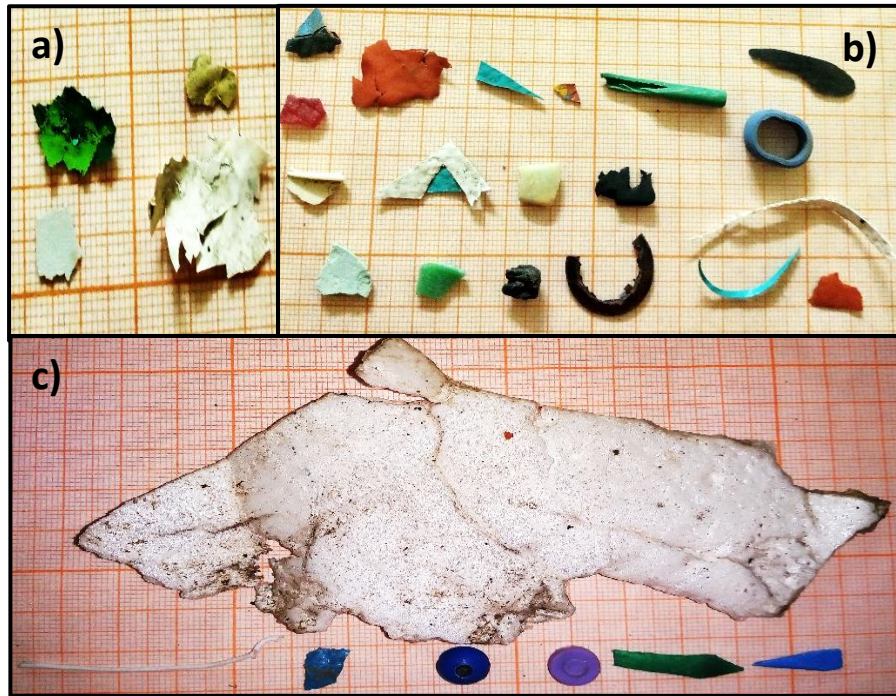


Fig. 78 Macroplásticos encontrados en la a) muestra 3, b) muestra 9 y c) muestra 9.  
Fuente: Archivo personal.

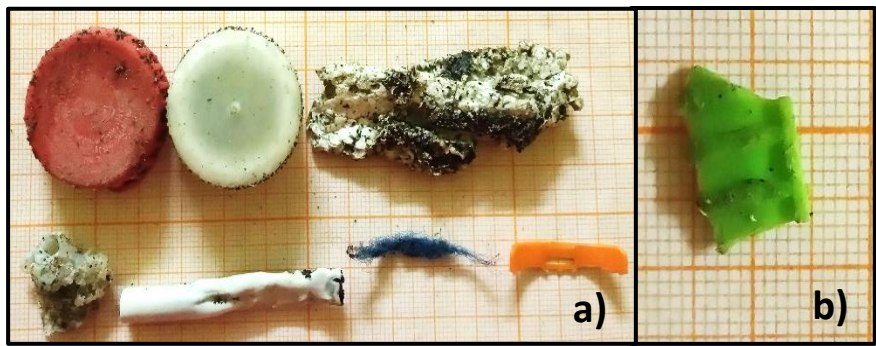


Fig. 79 Macroplásticos encontrados en la a) muestra 10 y b) muestra 11.  
Fuente: Archivo personal.



Fig. 80 Macroplásticos encontrados en la muestra 12.  
Fuente: Archivo personal.

## 1.2 OBTENCIÓN DE RESULTADOS DE LA MUESTRAS DE AGUA

Los resultados obtenidos variaron en función del periodo de muestreo y la distancia del transecto a la orilla de la laguna.

En el muestreo llevado a cabo en el mes de septiembre del 2020 las muestras estuvieron compuestas de una gran cantidad de residuos vegetales y microplásticos de naturaleza variada por esta razón la muestra obtenida fue abundante y tuvo que separarse la materia orgánica para su análisis, además a simple vista se podían observar pequeñas partículas microplásticas, por el contrario, en el segundo muestreo, hubo escasos residuos y las muestras fueron muy pequeñas y no se percibían a simple vista.

Al igual que las muestras de sedimento, cada partícula se clasificó de acuerdo con su tamaño, forma, color y pesándose con base en su categoría.

El resultado principal del análisis de microplásticos es el número de partículas de microplásticos encontradas en cada muestra, sin embargo, este se puede transformar en una unidad de medida utilizada por diferentes autores en su trabajo de investigación, la primera está dada por la (Fórmula 1) que consiste en determinar el volumen filtrado en cada transecto, por tal motivo se debe obtener el área de la boca de la malla y posteriormente multiplicar por la distancia recorrida.

**V filtrado = b x h x distancia recorrida**

Formula 1

Para determinar el valor, se deberá dividir el número de microplásticos encontrado entre el volumen filtrado, su unidad de medida está dada por #ítems/m<sup>3</sup>.

Por otro lado, para terminar la concentración con base en el área muestreada se debe multiplicar el ancho de la malla por la distancia recorrida en el transecto en unidades de km y está dada por #ítems/km<sup>2</sup> (Fórmula 2).

**Partículas microplásticas por muestra / área de muestreo**

Formula 2

La siguiente tabla muestra los 3 tipos de presentación de resultados.



Tabla 8. Resultados del volumen y área muestreada en septiembre y noviembre 2020.

Transecto	Longitud (m)	Área de la red (m <sup>2</sup> )	Ancho de la malla (km)	Volumen muestreado Fórmula 1 (m <sup>3</sup> )	Área muestreada Fórmula 2 (km <sup>2</sup> )
<b>PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)</b>					
1	1,890 m	0.28 m <sup>2</sup>	0.0004 km	529.2	0.000756
2	1,970 m	0.28 m <sup>2</sup>	0.0004 km	551.6	0.000788
<b>PRIMER MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)</b>					
1	1,860 m	0.28 m <sup>2</sup>	0.0004 km	520.8	0.000744
2	1,850 m	0.28 m <sup>2</sup>	0.0004 km	518	0.000740

Tabla 9. Resultados de los microplásticos encontrados en muestras de agua en el primer y segundo muestreo.

Transecto	Partículas encontradas	Volumen muestreado (m <sup>3</sup> )	#ítems/m <sup>3</sup>	Área muestreada (km <sup>2</sup> )	#ítems/ km <sup>2</sup>
<b>PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)</b>					
1	179	529.2	0.3382	0.000756	236,772.5
2	68	551.6	0.1233	0.000788	86,294.4
<b>PRIMER MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)</b>					
1	15	520.8	0.0288	0.000744	20,161.3
2	15	518	0.0290	0.000740	20,270.3

### 1.2.1 PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)

#### TRANSECTO 1

En este transecto se contabilizaron y observaron un total de 179 partículas plásticas distribuidas en fragmentos, fibras, microplástico espumado y películas siendo esta muestra la de mayor cantidad en comparación con las otras (Fig. 81)

#### TRANSECTO 2

La muestra 2 presentó una menor presencia de fragmentos plásticos en comparación con la primera, entre ellas hay una distancia de 790 metros aproximadamente y una longitud de 1.86 km hasta la orilla, esta minimización en la

presencia de microplástico podría ser atribuida a que hay una mayor separación con la zona de afluencia de residuos por lo que el número disminuye (Fig. 81).

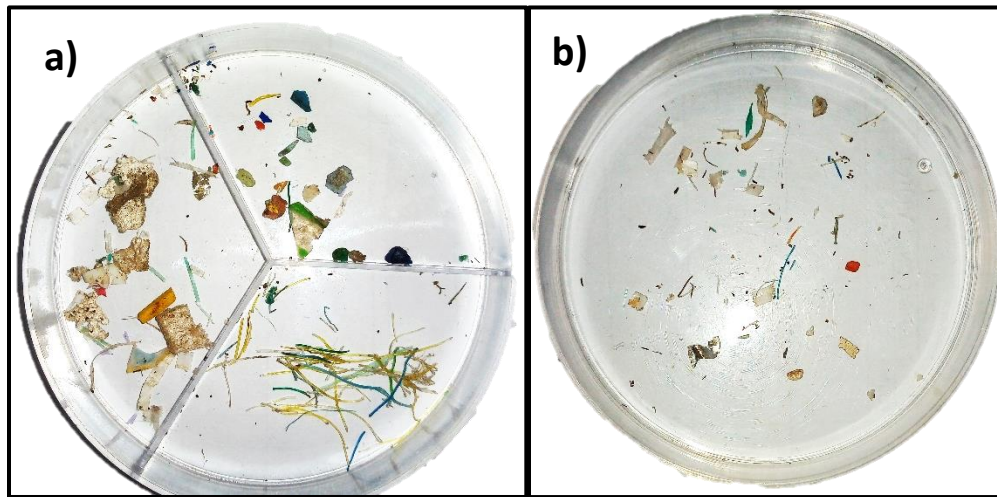


Fig. 81 Microplásticos encontrados en la a) muestra 1 y b) muestra 2.  
Fuente: Archivo personal.

### 1.2.2 SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)

Al igual que en el primer muestreo, las muestras fueron obtenidas a partir de dos transectos, en ambos se observó una disminución en la presencia de troncos y hojarasca, ahora estaba compuesta por pequeños lirios acuáticos, al eliminar estos residuos la muestra se notó aún más disminuida y no era fácil observar microplásticos a simple vista.

La observación realizada en el laboratorio determinó que ambas muestras contenían 15 partículas repartidas entre fragmentos, fibras y películas, en comparación con el primer muestreo esta cantidad extraída disminuyó considerablemente (Fig. 82).

Por ello, el tiempo atmosférico de lluvia si aumenta la concentración de partículas plásticas en el agua que se ve atribuida a las escorrentías provenientes del municipio de Catemaco.

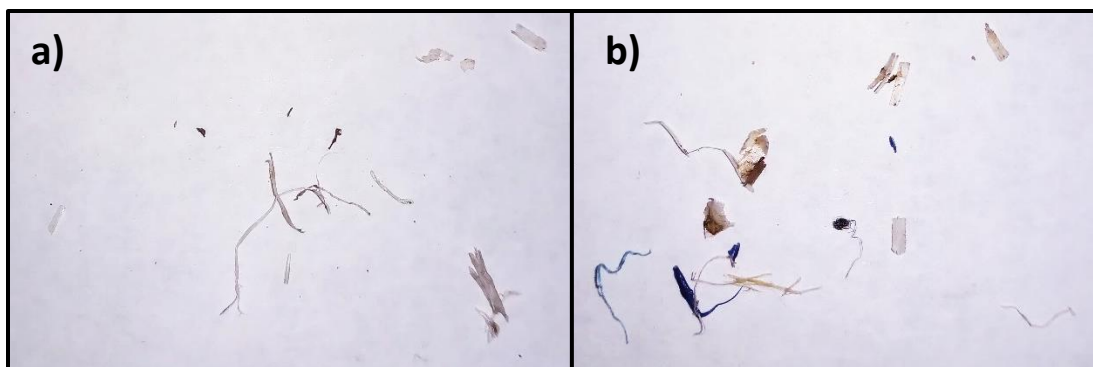


Fig. 82 Microplásticos encontrados en la a) muestra 1 y b) muestra 2.  
Fuente: Archivo personal.

### 1.2.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DEL AGUA.

En cada transecto correspondientes a los periodos de muestreo se recolectó una muestra de agua con la finalidad de obtener información complementaria con respecto a parámetros fisicoquímicos que contribuyan a determinar la calidad en que se encuentra la Laguna de Catemaco actualmente.

Cabe mencionar que a pesar de ser un cuerpo de agua que proporciona alimento a la zona nunca se le ha realizado caracterización fisicoquímica comisionada por parte de la autoridad que dirige el municipio, por esta razón es de gran interés complementar la investigación con los datos obtenidos.

A continuación, se muestra la tabla con los resultados y se comparan con los límites permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN".

Aunque el agua de la laguna no se utiliza para consumo humano, aún hay personas que hacen uso de esta y son principalmente las localidades establecidas alrededor de ella, por este motivo la presente norma es la aplicable para conocer su calidad, algunos parámetros que se realizaron no se encuentran en la lista como es el caso del fosfato, CO<sub>2</sub> y la conductividad eléctrica.

Tabla 10. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua.

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Límite permisible
<b>PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)</b>			
pH	8.3	8.1	6.5-8.5
CO <sub>2</sub>	40 ppm	70 ppm	-
Nitratos	0 mg/l	0 mg/l	10.00 mg/l
Fosfatos	0 mg/l	0 mg/l	-
Color aparente	82 PCU	55 PCU	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Color verdadero	28 PCU	33 PCU	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Turbidez	3.67 UTN	2.35 UTN	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)
Conductividad Eléctrica	148 $\mu$ S/cm	190 $\mu$ S/cm	-
<b>SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)</b>			
pH	8.18	8.08	6.5-8.5
CO <sub>2</sub>	10 ppm	0 ppm	-
Nitratos	0 mg/l	0 mg/l	10.00 mg/l
Fosfatos	0 mg/l	0 mg/l	-
Color aparente	47 PCU	31 PCU	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Color verdadero	39 PCU	27 PCU	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Turbidez	4.89 UTN	3.92 UTN	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)
Conductividad Eléctrica	170 $\mu$ S/cm	149 $\mu$ S/cm	-

## pH

El pH es la prueba más común para conocer la calidad del agua, esta nos indica el grado de acidez o alcalinidad en la que se encuentra, las mediciones se encuentran en un rango de 0 a 14 siendo 7 el pH neutro, este tiene gran relevancia para los organismos que habitan en este medio, pues están sujetos a cierta cantidad de acidez o basicidad que contribuye a llevar a cabo mejor su función, crecimiento y desarrollo.

Los resultados de las muestras del primer muestreo, el valor del pH no difiere mucho entre ellas y ambas se encuentran dentro del rango establecido por la norma, no

obstante, están muy cercanos al límite, en el caso de las muestras obtenidas en noviembre si hay un amplio rango de variación en los resultados y rebasa el límite de 8.5.

El pH del agua debe de estar en un rango de 6.5 a 8.5, si se encuentran valores por debajo a 6.5 podría ser atribuido a los gases atmosféricos principalmente por el CO<sub>2</sub> volviéndola más ácida, corrosiva y capaz de disolver iones metálicos, por otra parte, un agua con un pH > 8.5 podría indicar que el agua es alcalina, no representa problemas en la salud, pero si puede generar incrustaciones en tuberías.

## **CO<sub>2</sub>**

Los cuerpos de agua contienen cantidades de CO<sub>2</sub> debido al grado de solubilidad de este gas en el agua, este debe de estar en concentraciones inferiores a 10 mg/l, sin embargo, en agua contaminada y por lo regular estancada es común encontrar valores por encima de 10 ppm debido a la descomposición orgánica llevada a cabo por bacterias.

Las 2 muestras de agua obtenidas en septiembre presentaron mayor concentración de CO<sub>2</sub> con 40 ppm para la muestra 1 y con 70 ppm para la muestra 2, uno de los factores que pudieron aumentar el valor es la presencia excesiva de materia orgánica en el fondo del agua, así como en la superficie que se observó durante el recorrido, provenientes del transporte por las escorrentías de la lluvia la cual se había presentado el día anterior. Por otro lado, en el segundo muestreo solo la muestra 1 tuvo un valor de 10 ppm mientras que en la muestra 2 hubo ausencia de CO<sub>2</sub>.

## **COLOR APARENTE Y COLOR VERDADERO**

El color de agua en conjunto con la turbidez y el olor, representan el grupo de parámetros organolépticos que son indicativos de la calidad del agua. Esta coloración está asociada a la presencia de materia orgánica, así como partículas suspendidas o ciertos metales como hierro, manganeso o cobre, que se encuentra disuelta o en suspensión en este también intervienen el pH, la

temperatura, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Las muestras analizadas presentaron valores de color aparente mayores en el mes de septiembre mientras que en el mes de noviembre el valor es menor, por consiguiente, el valor verdadero fue menor, sin embargo, el valor en todas las muestras se encuentra por encima del límite establecido.

Es importante diferenciar entre las sustancias que están disueltas en el agua y las partículas que se encuentran en suspensión, ya que esto incide en los valores de lo que se clasifica como "color verdadero" y "color aparente" del agua. El color verdadero es el que depende solamente del agua, así como las sustancias disueltas en ella, mientras que el color aparente incluiría también las partículas no sedimentables.

## **TURBIDEZ**

La turbidez mide el grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión, cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez.

La medición de la turbidez del agua está dada por una propiedad óptica que hace que la luz sea dispersada y absorbida, en lugar de ser transmitida. La dispersión de la luz que pasa a través de un líquido es causada principalmente por los sólidos suspendidos presentes. Cuanto mayor sea la turbidez, mayor será la cantidad de luz dispersada.

La muestra 1 del segundo muestreo es la que obtuvo un valor mayor y cercano al límite de 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) en comparación con las otras 3 muestras.

### 1.3 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN BIOLÓGICA DE TILAPIA (*Oreochromis aureus*)

En ambos periodos de muestreo se obtuvieron seis ejemplares de Tilapias adultas en el mercado municipal de Catemaco, para la generación de la información biológica se obtuvo el peso general, peso de los extraído del estómago, longitud total y estándar.

El 100% de los ejemplares en ambos periodos de muestreo fueron hembras cuyo tamaño osciló en un 24 cm como mínimo y un 27 cm como máximo, mientras que la longitud estándar (de la boca hasta la última vertebra) estuvo en un mínimo de 19 cm y un máximo de 22 cm.

En función del peso el mas bajo fue de 282.6 g y el más alto fue de 377.4 g de acuerdo a ello, el 17 a 35 gramos está ocupado por el tracto digestivo los datos se encuentra en las siguientes tablas.

Tabla 11. Información biológica de Tilapia primer muestreo (septiembre 2020).

Ejemplares de Tilapia	Peso total	Peso de los órganos internos	Longitud total	Longitud estándar
Muestra 1	304.1 g	19.3 g	25 cm	22 cm
Muestra 2	312.1 g	19.4 g	26 cm	25.5 cm
Muestra 3	377.4 g	22.2 g	27.5	22 cm
Muestra 4	333.4 g	35 g	26.5	22 cm
Muestra 5	348 g	30.9	26	21.5 cm
Muestra 6	361 g	33.1	27	22 cm

Tabla 12. Información biológica de Tilapia primer muestreo (noviembre 2020).

Ejemplares de Tilapia	Peso total	Peso de los órganos internos	Longitud total	Longitud estándar
Muestra 1	310.5 g	26.8 g	24.5 cm	20.4 cm
Muestra 2	328.1 g	27.6 g	25 cm	21 cm
Muestra 3	282.6 g	17 g	24 cm	19.5
Muestra 4	284.6 g	20.2 g	24 cm	20 cm
Muestra 5	346.7 g	24.2 g	25.5 cm	21 cm
Muestra 6	282.7 g	22.5 g	24.3 cm	19 cm

## 2. RESULTADOS

### 2.1 MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)

El 75% de las muestras de sedimentos analizadas contenían partículas plásticas, la muestra con mayor cantidad fue la número 12 con 49 microplásticos, mientras que en la 11 solo se encontró una espuma siendo esta la más baja.

Con el fin de obtener una concentración más generalizada lo recomendable es determinar el #ítems/m<sup>2</sup> del sitio de muestreo para ello se toman en cuenta los residuos plásticos encontrados en cada una de las muestras entre el área muestreada dentro del cuadrante, en este caso equivale a 0.25 m<sup>2</sup>, de igual manera, la mayor concentración se encuentra en la muestra 12 con 596 ítems/m<sup>2</sup>. No obstante esta concentración es una aproximación de la cantidad de partículas que se encontrarían en 1 m<sup>2</sup> pero la cantidad puede ser mayor o menor.

A continuación, se muestra la tabla de las partículas encontradas en las muestras con su respectivo peso total.

Tabla 13. Peso y número total de las partículas encontradas en las muestras de sedimento.

No. Muestra	Microplásticos encontrados	Peso de microplásticos (g)	#ítems/m <sup>2</sup>
Muestra 1	3	0.0151	12
Muestra 3	6	0.0640	24
Muestra 4	17	0.0704	68
Muestra 6	10	0.0554	40
Muestra 7	14	0.0708	56
Muestra 8	16	0.1396	64
Muestra 10	6	0.0072	24
Muestra 11	1	0.0029	4
Muestra 12	49	0.1246	596
<b>TOTAL</b>	<b>122</b>	<b>0.5500</b>	



## RESULTADO GENERAL

En total se contabilizaron, categorizaron y midieron 122 partículas microplásticas diferentes obteniendo como peso general 0.5500 gramos, las partículas encontradas en las 9 muestras de sedimento se agruparon de acuerdo a su categoría siendo los microplásticos espumado las partículas predominantes con un 32.79%, seguida por las fibras con 29.51%, las astillas con 21.31%, los fragmentos con 11.48% y por último las películas con 4.10%.

Aunque las espumas representan en su mayoría los microplásticos extraídos, al ser de un tamaño pequeño y peso ligero se encuentra por debajo de los fragmentos, este último se posicionó como la mayor cantidad en gramos encontrados. El tamaño se distribuyó en un rango de 1 a 50 mm prevaleciendo los de 5 mm. En función del color el que domina es el blanco con un 43.44% mientras los demás colores se encuentran en porcentajes menores (Fig. 83).

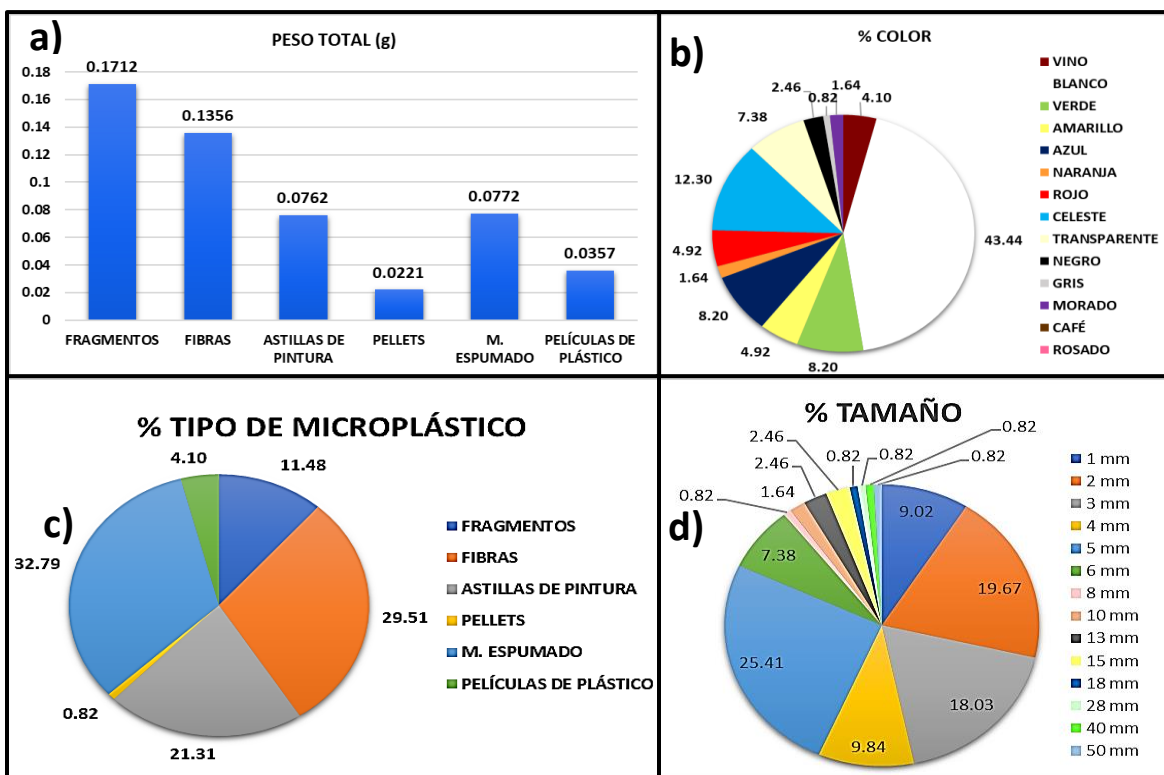


Fig. 83 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en total.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 1

La muestra 1 está compuesta en un 100% por fibras con tamaño de 3, 6 y 10 mm que pesan en conjunto 0.0151 gramos, con un 33% de color transparente y el 67% de color blanco, los gráficos se muestran en la (Fig.84).

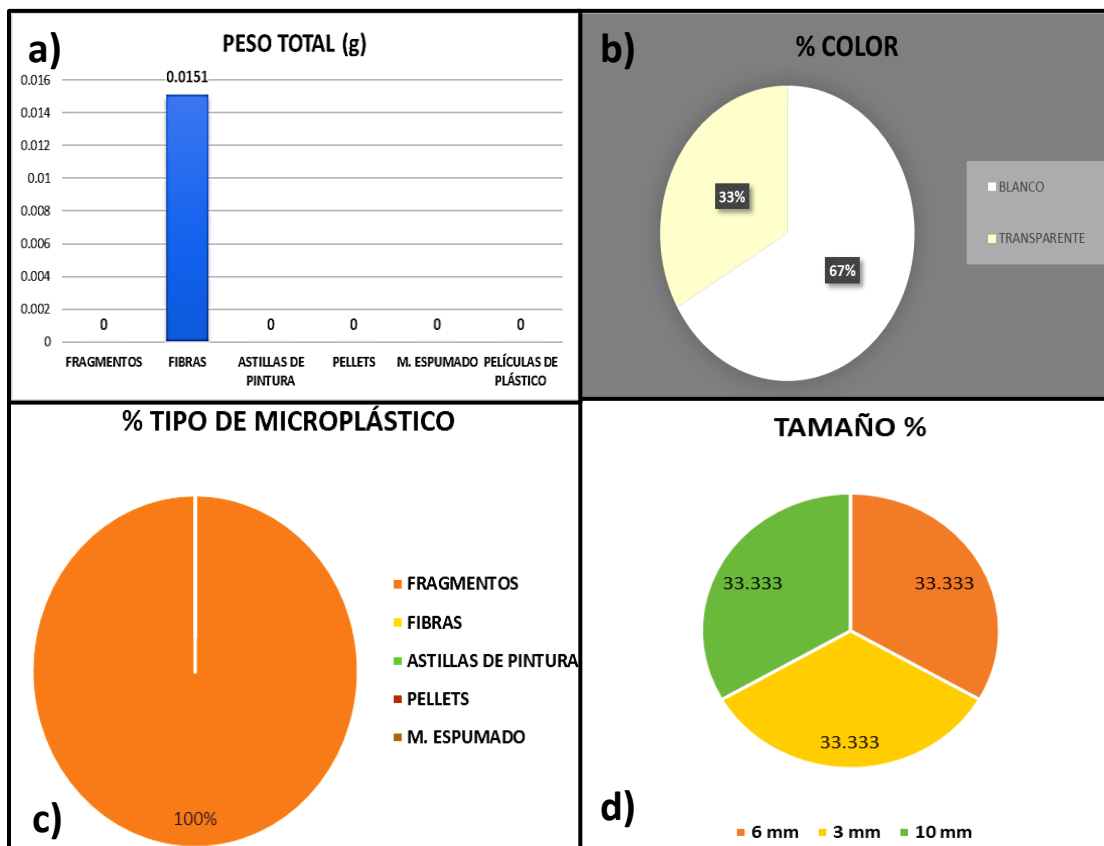


Fig. 84 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 1.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 3

La muestra 3 está compuesta en un 33.33% por astillas de pintura y un 66.66% de fibras con tamaño que va de 1 a 15 mm con predominancia de porcentaje para el tamaño de 2 mm, la distribución en el color es el azul seguido del transparente y blanco, por otro lado, las fibras tuvieron un peso de 0.0176 g y las astillas de 0.0144 gramos (Fig. 85).

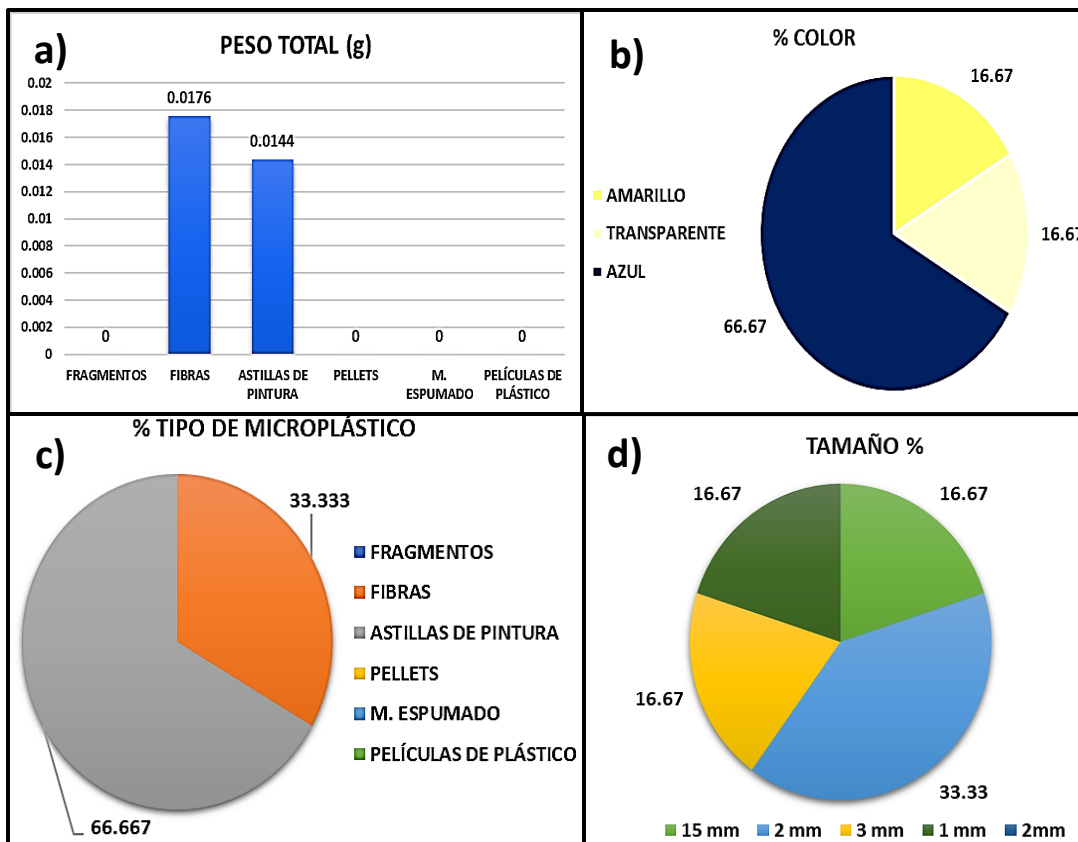


Fig. 85 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 3.

Fuente: Archivo personal.

#### MUESTRA 4

Está constituida por 3 tipos de microplásticos siendo los de mayor porcentaje los fragmentos y astillas seguido por las fibras, en el caso del peso los fragmentos ocupan el primer lugar con 0.0334 g, en segundo las astillas con 0.019 g y por último las fibras con 0.018 g.

Por parte del color los mas encontrados fueron verde, azul y blanco y su longitud va de 1 a 50 mm, las partículas que rebasaron el límite de 5 mm son fibras finas y delgadas de 1 mm de grosor que se encontraban enrolladas y al momento de estirarse su longitud aumentó (Fig.86).

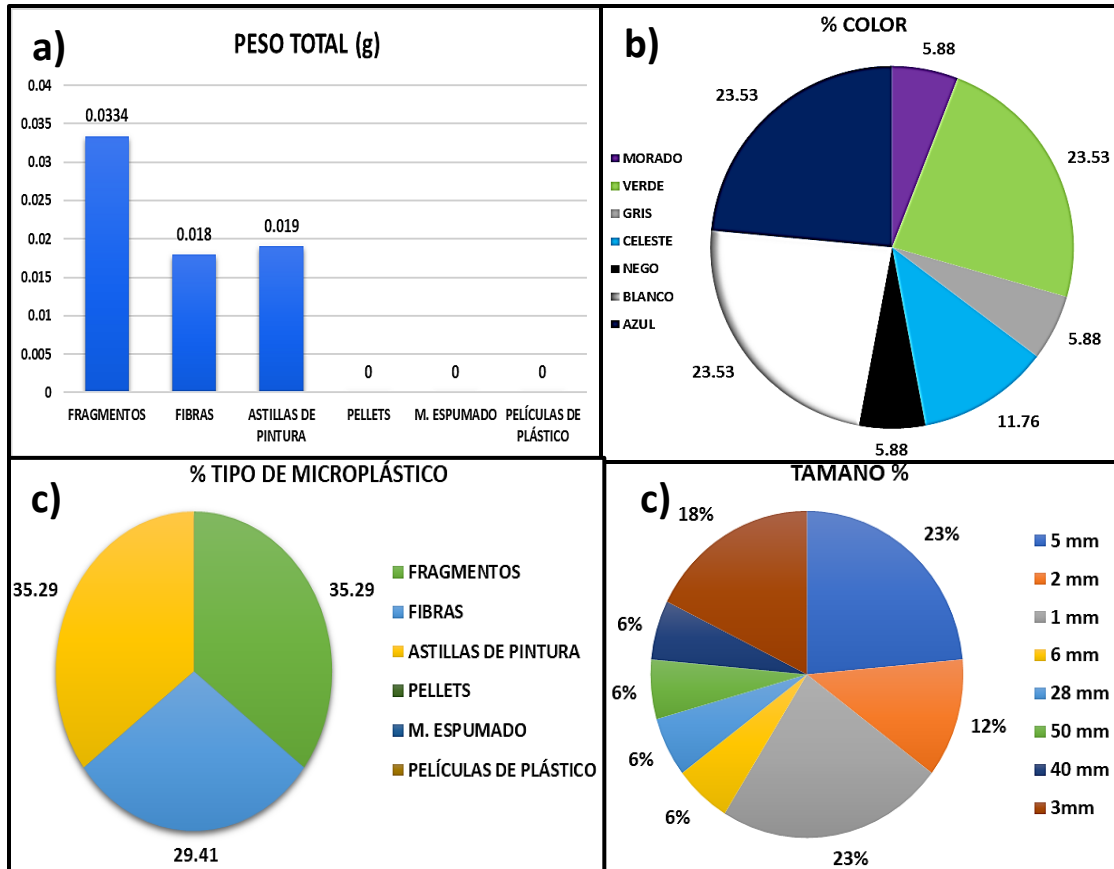


Fig. 86 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 4.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 6

Los fragmentos microplásticos aislados está agrupado en un 40% por fibras, mientras que el resto y en proporciones iguales de fragmentos y películas, no obstante, las posiciones cambian de acuerdo al peso liderando las películas, seguida de los fragmentos y por último las fibras.

Con respecto al tamaño los de mayor abundancia fueron de 4 y 5 mm al igual que otras muestras en esta hubo fibras enrolladas que al estirla su longitud resultó ser mayor, pero todas con grosor de 1 mm, el color más observado fue el transparente cubriendo un 40% (Fig. 87).

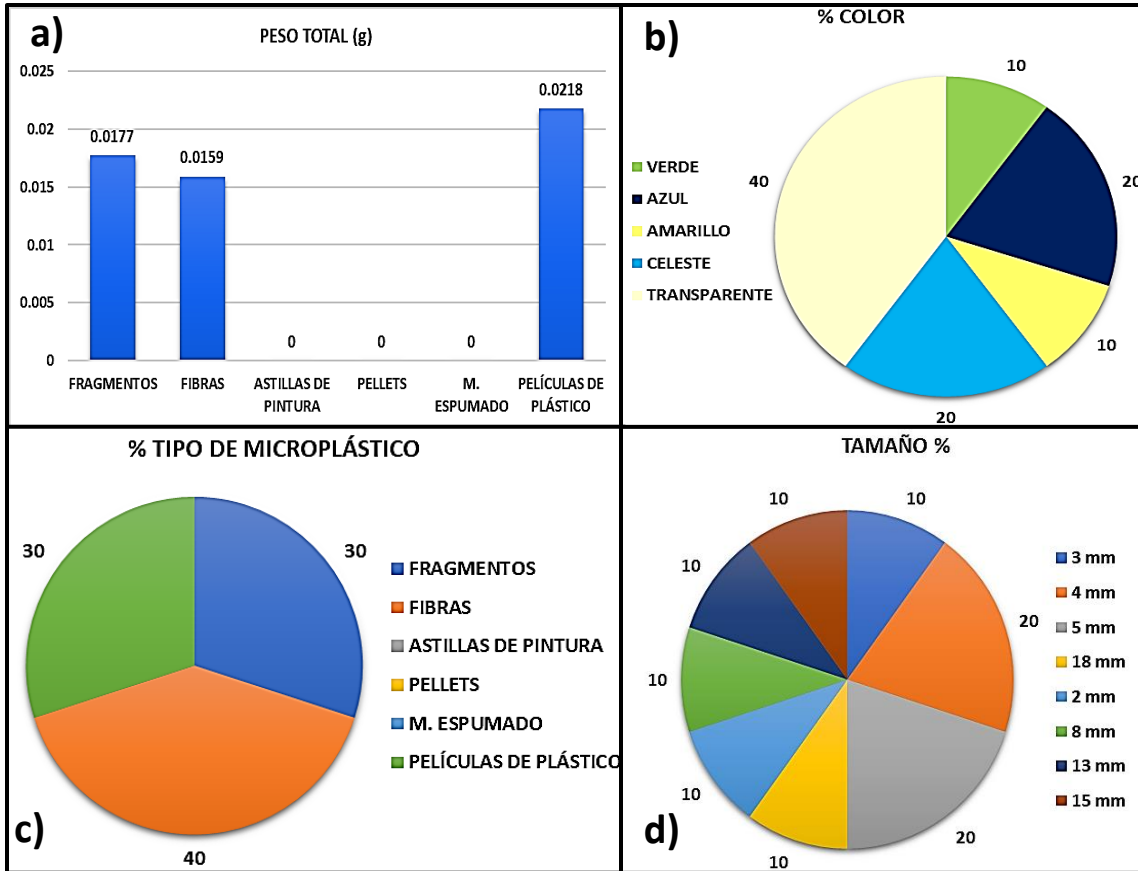


Fig. 87 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 6.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 7

Los fragmentos microplásticos encontrados en esta muestra está encabezada por las astillas con un 50%, seguido de las fibras con 42.86 % y en tercer lugar los fragmentos con 7.14%, sin embargo, considerando el peso las fibras tiene el mayor gramaje.

Basándose en el color el que más sobresale es el vino seguido del blanco y de acuerdo con el tamaño el que domina es el de 2mm (Fig. 88).

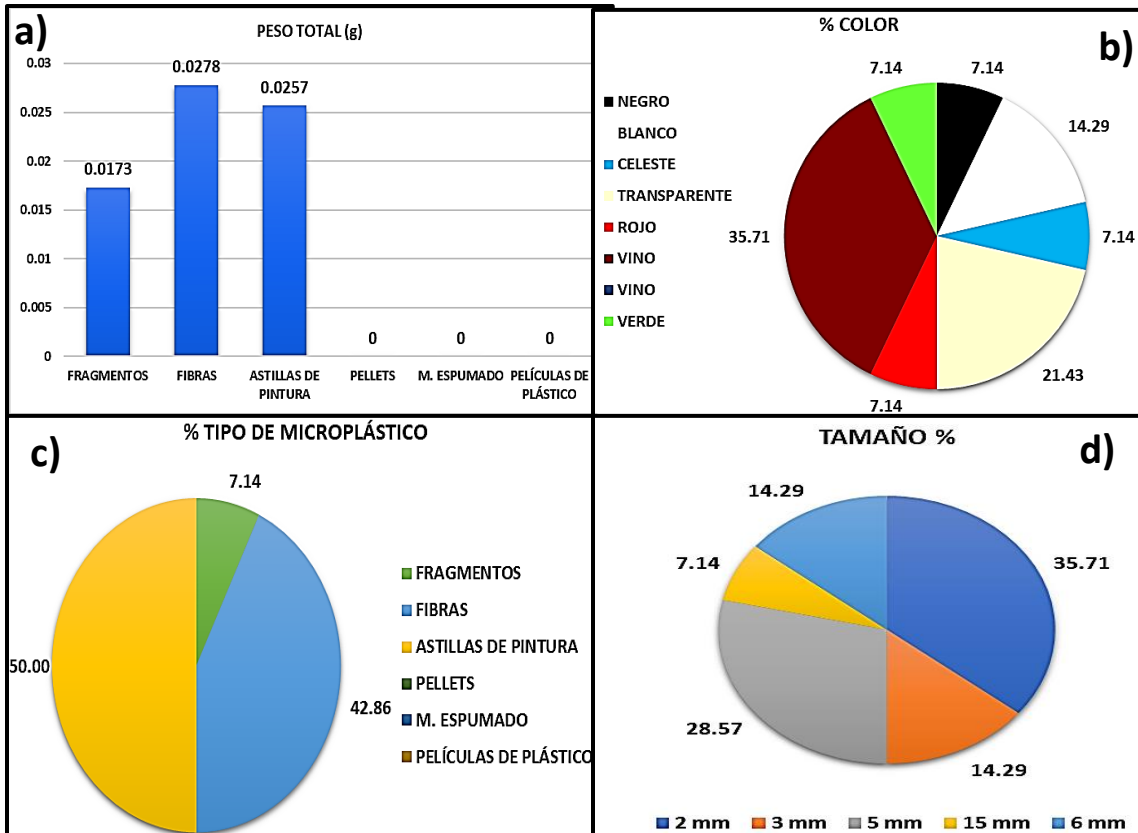


Fig. 88 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 7.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 8

A comparación con las muestras descritas con anterioridad en esta se encontraron cuatro tipos de microplásticos con un 50% de fibras, 37.50% de astillas de pintura y el resto en proporciones iguales de películas y espumas, sin embargo, los fragmentos cuentan con mayor peso.

Las partículas encontradas abarcan más gamas de colores siendo el celeste y el amarillo los más sobresalientes, conforme al tamaño los predominantes son de 4 y 5 mm (Fig. 89).

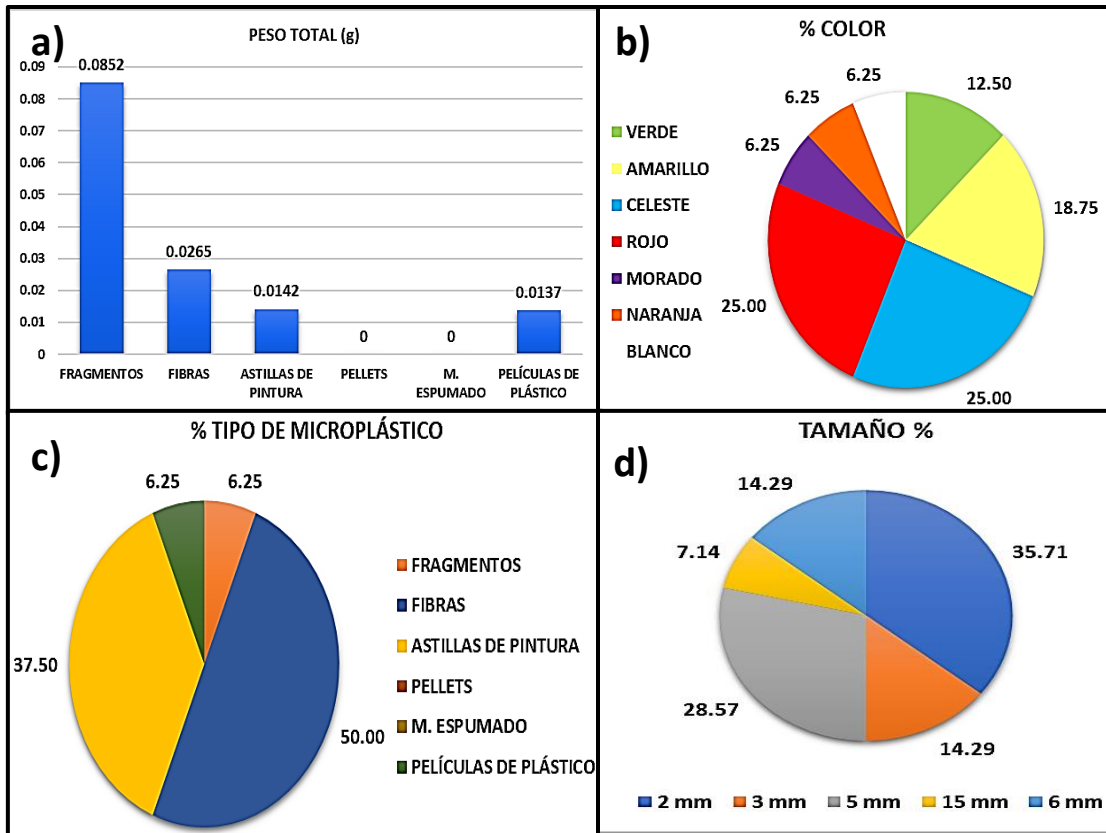


Fig. 89 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 8.  
Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 10

Los resultados están conformados en un 50% por astillas de pinturas, un 33.33% por fibras y el 16.67% por fragmentos irregulares con tamaño de 1 a 2 mm, el color con más repetición fue el celeste (Fig. 90 y 91).

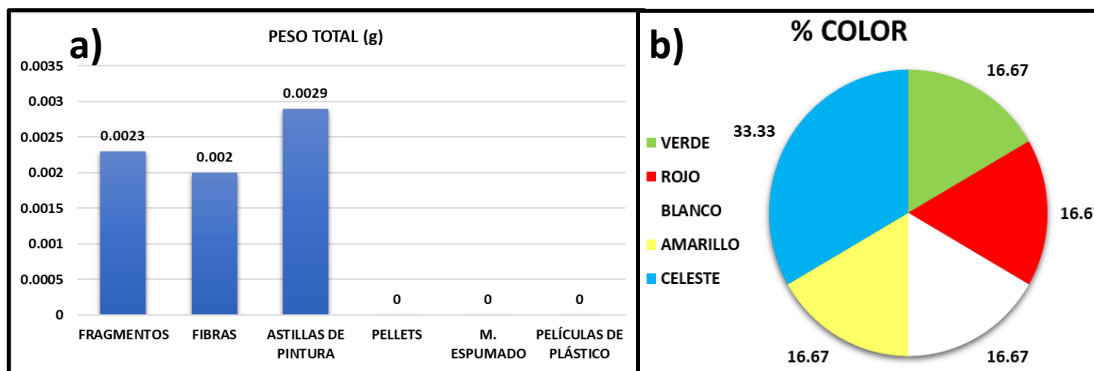


Fig. 90 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color.  
Fuente: Archivo personal.

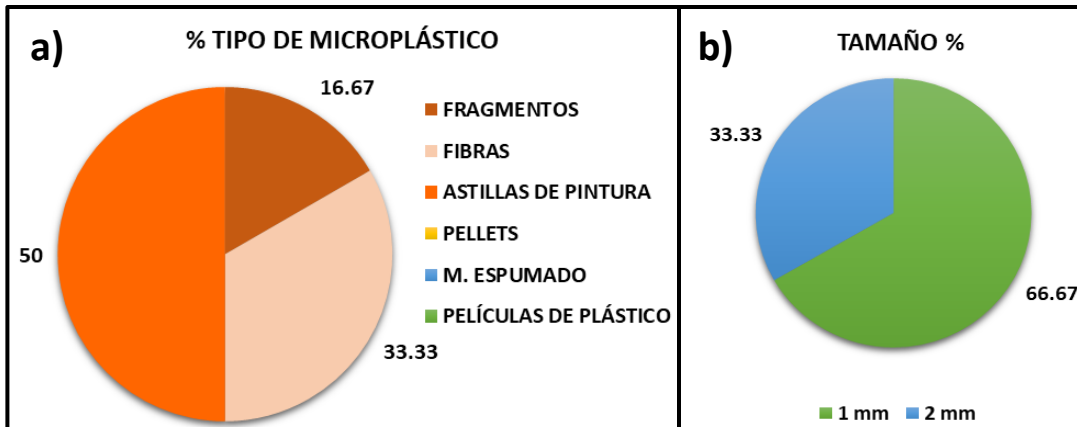


Fig. 91 Gráfico de resultados para a) tipo de microplástico y b) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 10.

Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 11

En esta muestra sólo se encontró una partícula de microplástico espumado de color blanco, con una medida de 5 mm y un peso de 0.0029 g (Fig. 92).

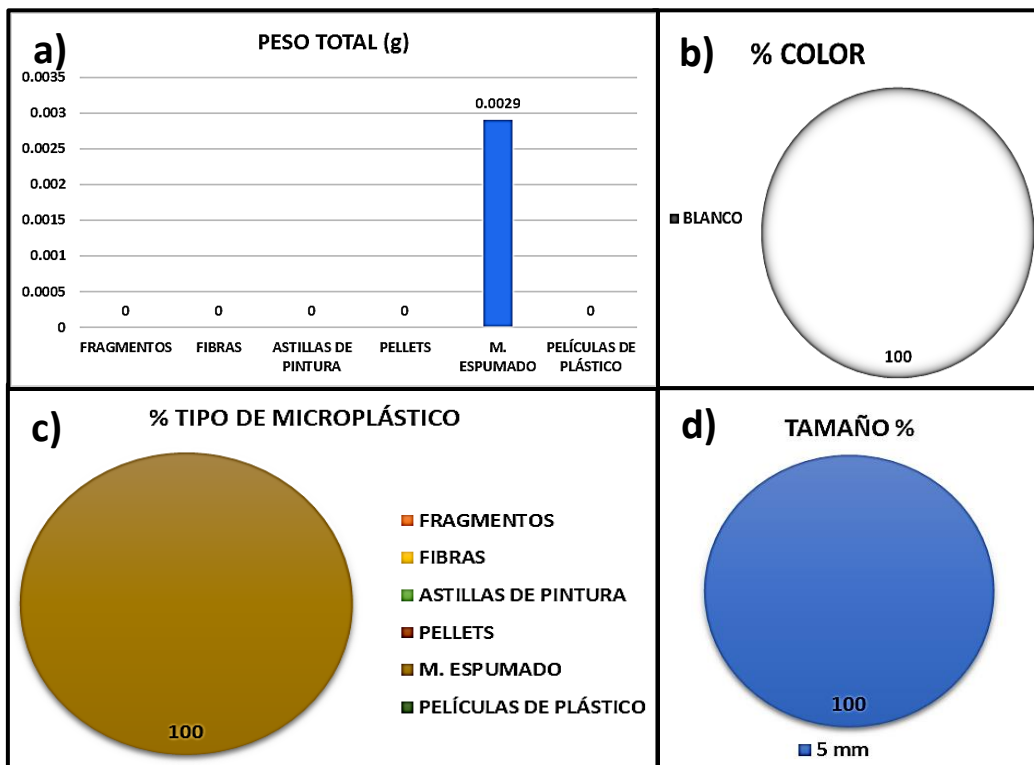


Fig. 92 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 11.

Fuente: Archivo personal.



## MUESTRA 12

Esta muestra es la que más cantidad de microplásticos contiene y se encuentra distribuida en un 79.59% por espumas, 10.59% por fibras, 6.12% por fragmentos, 2.4% por películas y el 2.4% restante de pellets, por otro lado, el color que domina es el blanco y en porcentajes pequeños se encuentra el celeste, naranja, verde y negro, mientras tanto el tamaño va de 1 a 10 mm (Fig. 93).

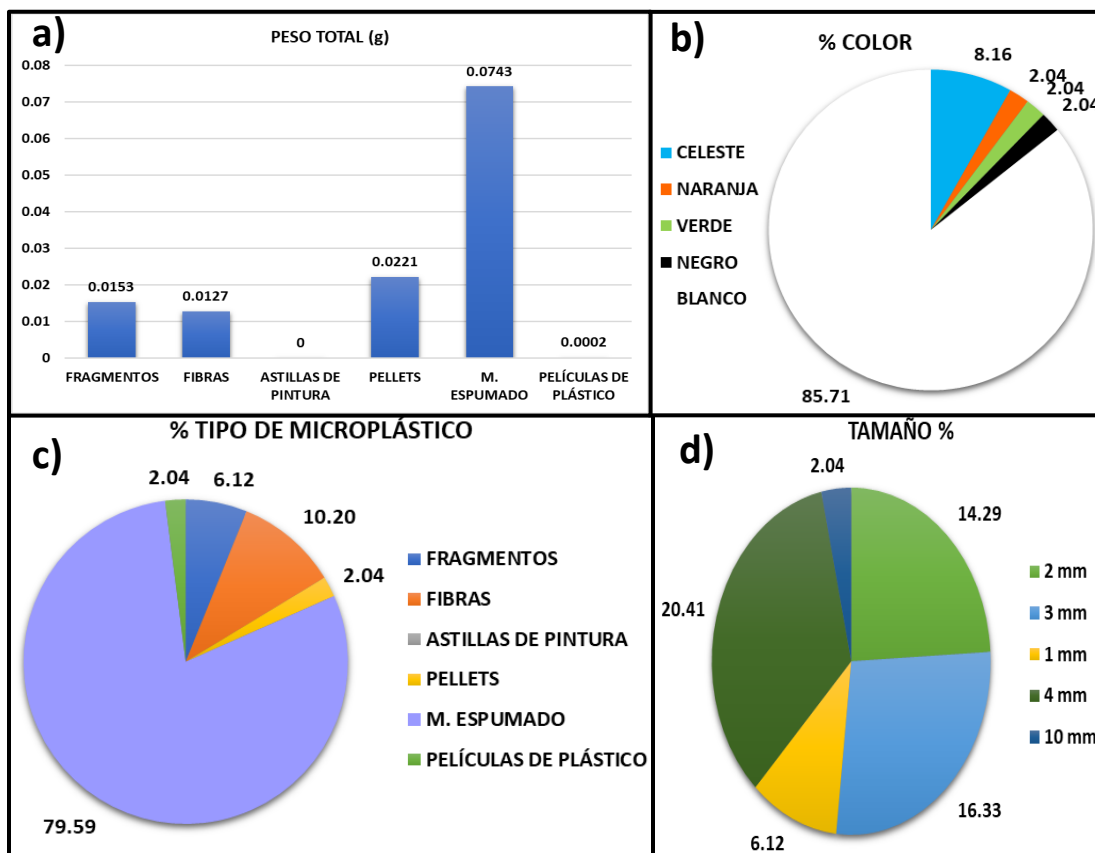


Fig. 93 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 11.

Fuente: Archivo personal.

## 2.2 MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)

En el segundo muestreo se aislaron 132 partículas plásticas encontradas en 9 de las 12 muestras totales que representa el 75% de igual manera que en el primer muestreo, sin embargo, la diferencia radica en el número de microplásticos encontrados y que hubo presencia en muestras que en el primer muestreo no tuvieron.

La muestra con mayor número de partículas fue la número 8 con 41 microplásticos en comparación con las muestras de septiembre en donde la muestra 12 es la que mostró una cantidad mayor, por otra parte, las muestras que menor cantidad presentaron fueron la muestra 6 y 10.

Se determinó el #ítems/m<sup>2</sup> del sitio de muestreo para ello se toman en cuenta los residuos plásticos encontrados en cada una de las muestras entre el área muestreada dentro del cuadrante, en este caso equivale a 0.25 m<sup>2</sup>.

A continuación, se muestra la tabla de las partículas encontradas en las muestras con su respectivo peso total.

Tabla 14. Peso y número total de las partículas encontradas en las muestras de sedimento.

No. Muestra	Microplásticos encontrados	Peso (g)	#ítems/m <sup>2</sup>
Muestra 2	2	0.0361	8
Muestra 3	31	0.0728	124
Muestra 5	4	0.0263	16
Muestra 6	1	0.0626	4
Muestra 7	11	0.1373	44
Muestra 8	41	1.2492	164
Muestra 10	1	0.0215	4
Muestra 11	2	0.0346	8
Muestra 12	39	0.2533	156
<b>TOTAL</b>	<b>132</b>	<b>1.8937</b>	

## RESULTADO GENERAL

Las 132 partículas encontradas en las 9 muestras de sedimento se agruparon de acuerdo a su categoría siendo las astillas de pintura la más predominante con un 38.64% seguido por los microplásticos espumado con 28.79%, los fragmentos con 18.94% y por último las películas con 13.64%.

Basados en el peso, aunque las espumas representan en su mayoría los microplásticos extraídos al ser de un tamaño pequeño y peso ligero se encuentra por debajo de las fibras y los fragmentos. El en caso del tamaño este se distribuyó en un rango mínimo de 1 mm y un máximo de 15 mm predominando los de 5 mm. En función del color el que domina es el blanco con un 32.58% seguido del verde con 26.52% (Fig. 94).

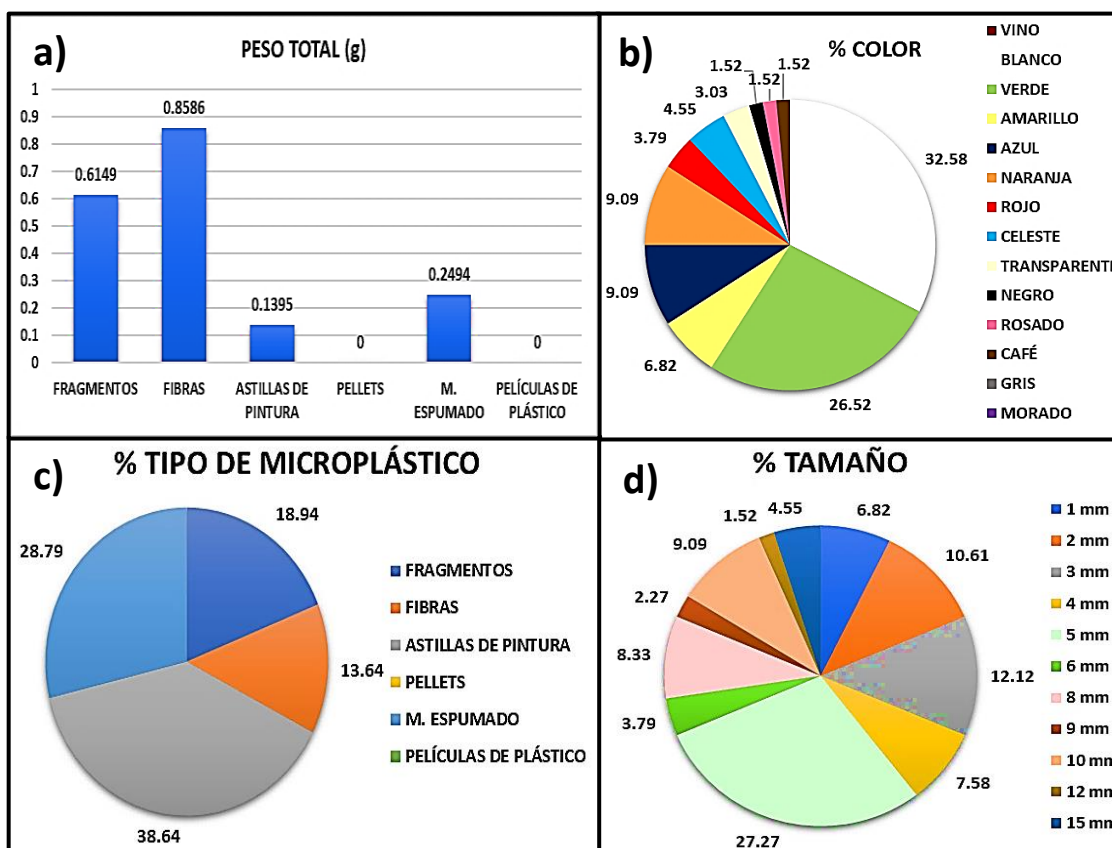


Fig. 94 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en total.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 2

La muestra 2 está compuesta en un 50% por fibras y el otro 50% por astillas de pintura con tamaños de 2 y 7 mm, con un peso total de 0.0361 gramos, por otro lado, el color está distribuido de igual manera en verde y rosado (Fig. 95).

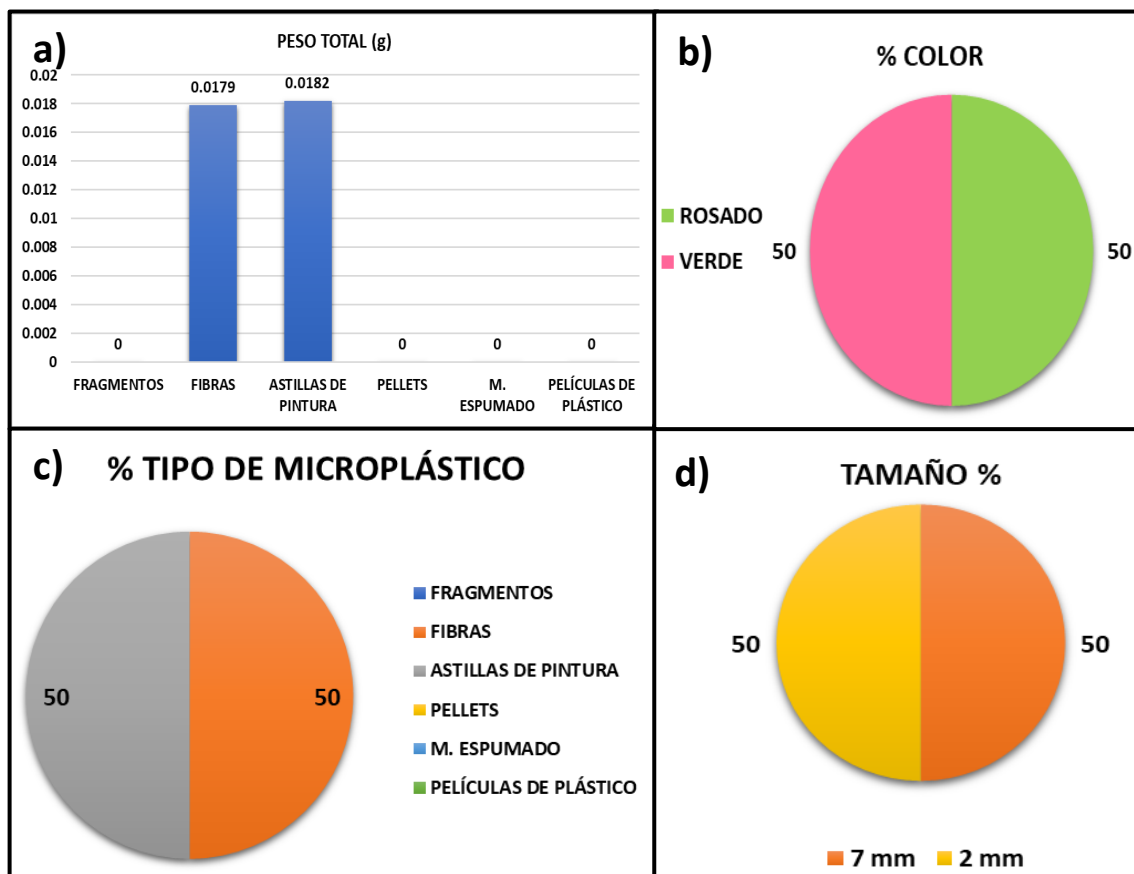


Fig. 95 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 2.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 3

La muestra está compuesta en su totalidad por partículas de astillas de pintura con tamaños variables de 1 a 9 mm siendo los de 5 mm el de mayor porcentaje, la distribución en el color está constituido en un 87.10% de verde, 9.68% rojo y 3.23% de amarillo (Fig. 96).

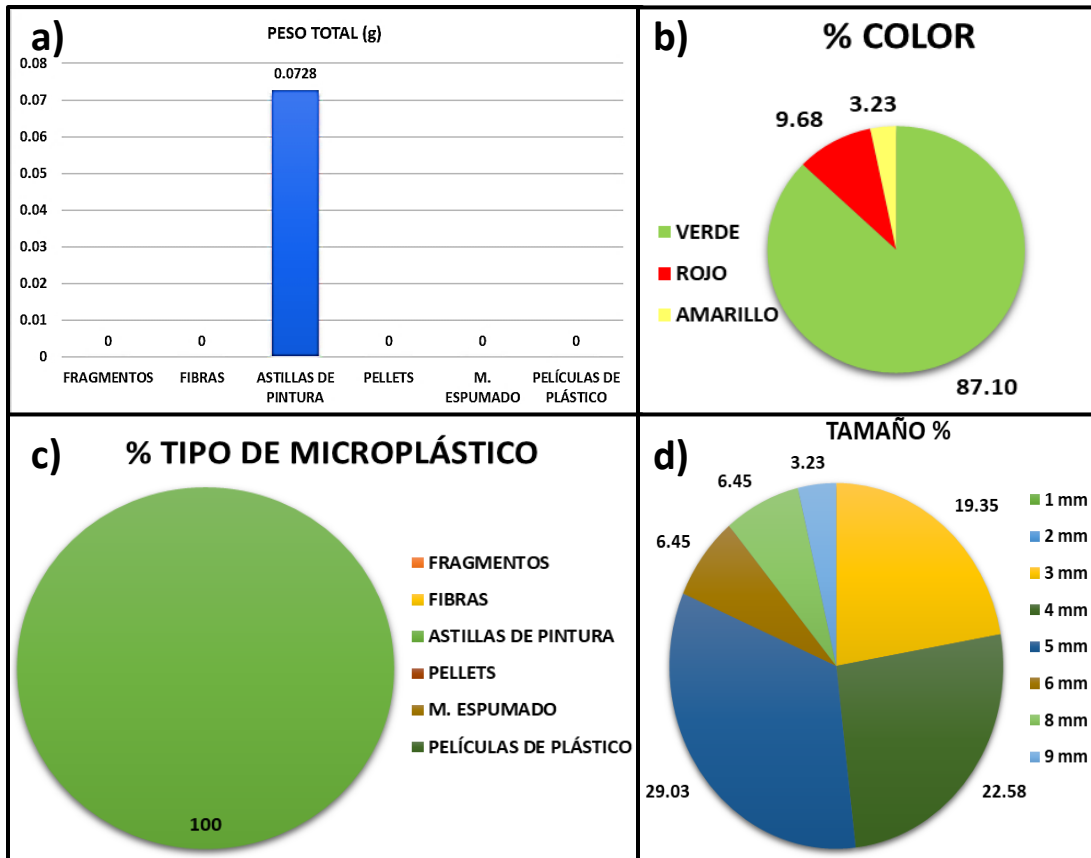


Fig. 96 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 3.  
Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 5

Está conformada en un 100% por astillas de pintura de color verde con tamaño de 1 a 5 mm (Fig.97 y 98).

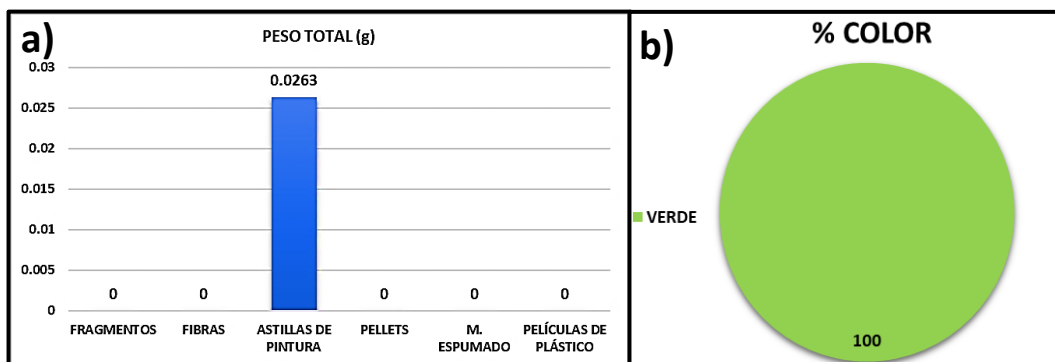


Fig. 97 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color encontrados en la muestra 5.

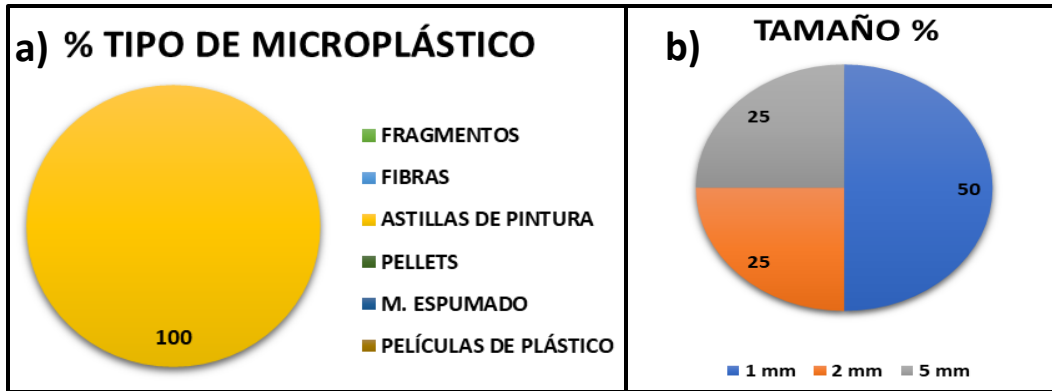


Fig. 98 Gráfico de resultados para a) tipo de microplástico y b) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 5.  
Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 6

En esta muestra solo se encontró un fragmento de color azul, con un tamaño de 5 mm y un peso de 0.0313 g por tal motivo ocupa el 100% en todos los gráficos (Fig. 99).

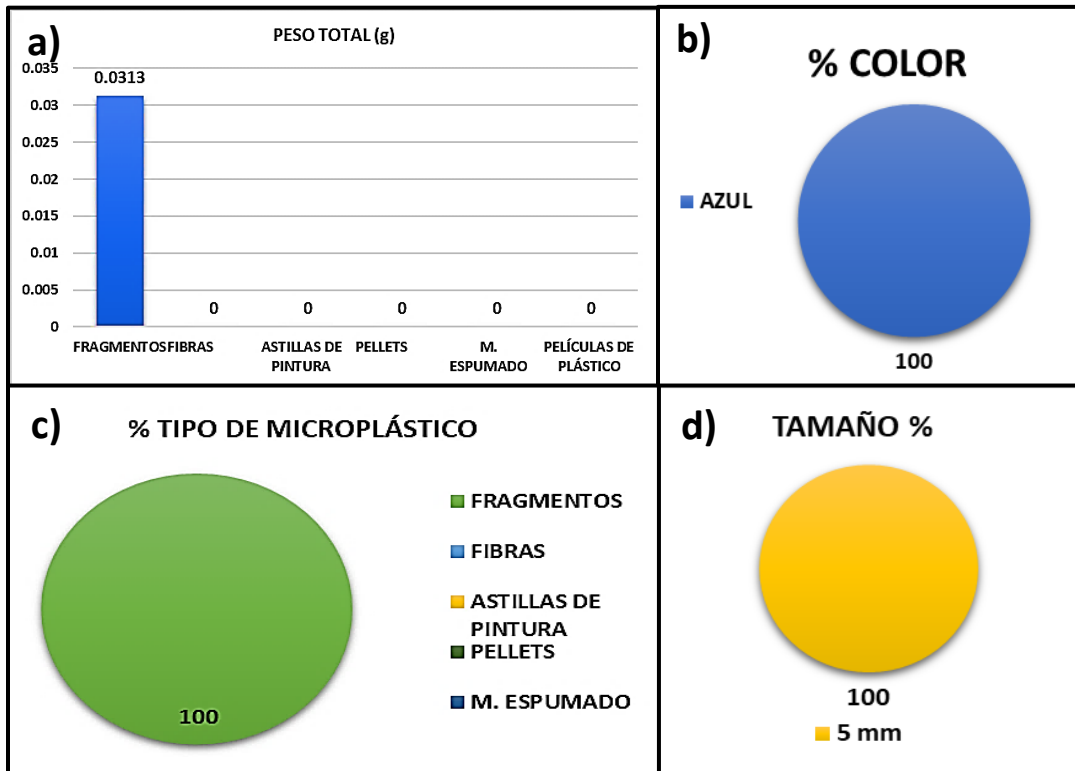


Fig. 99 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 6.  
Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 7

Las partículas extraídas están conformadas en un 54.55% de fibras y un 45.45% de fragmentos, sin embargo, el peso mayor corresponde al de los fragmentos con 0.1144 g, con respecto al color el más observado fue el azul seguido por el amarillo, por parte del tamaño los residuos varían en un rango de 2 a 10 mm (Fig. 100).

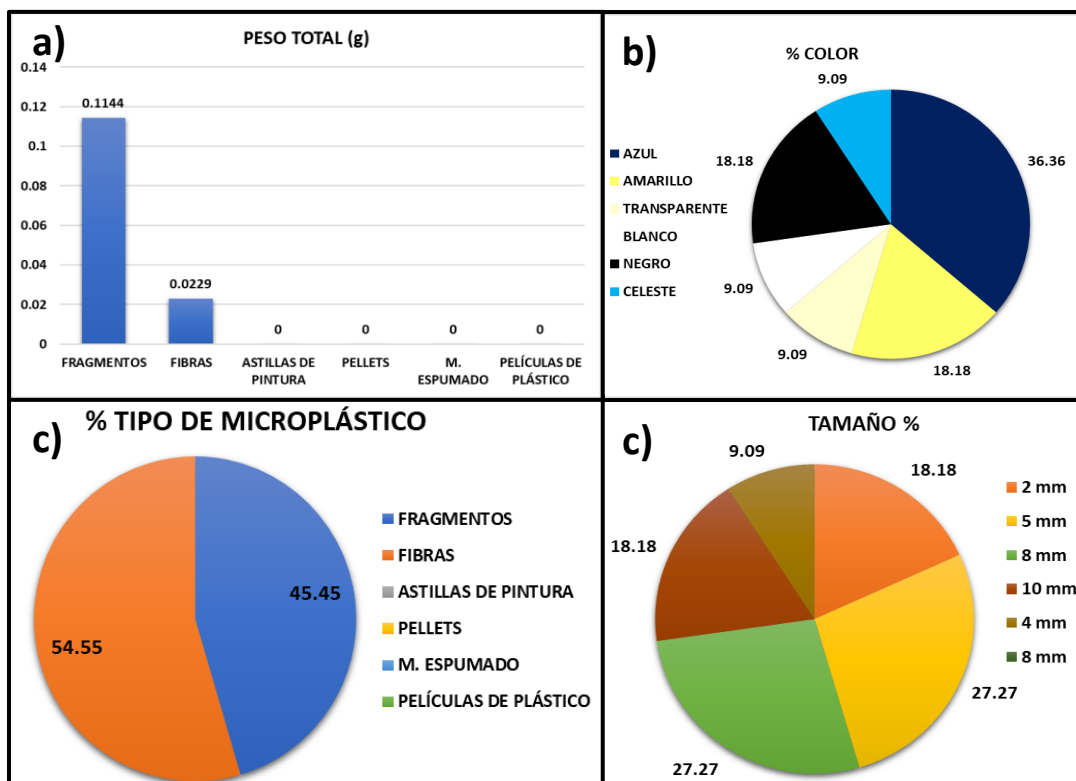


Fig. 100 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 7.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 8

En esta muestra se presenta la mayor concentración de partículas correspondiente al segundo muestreo formado en un 41.46% por fragmentos, un 34.15% por astillas de pintura y un 24.39% por fibras, la distribución del tamaño va de 2 a 15 mm siendo el de 4 mm el que predomina, por otra parte, el color más observado fue el naranja principalmente en las astillas (Fig. 101).

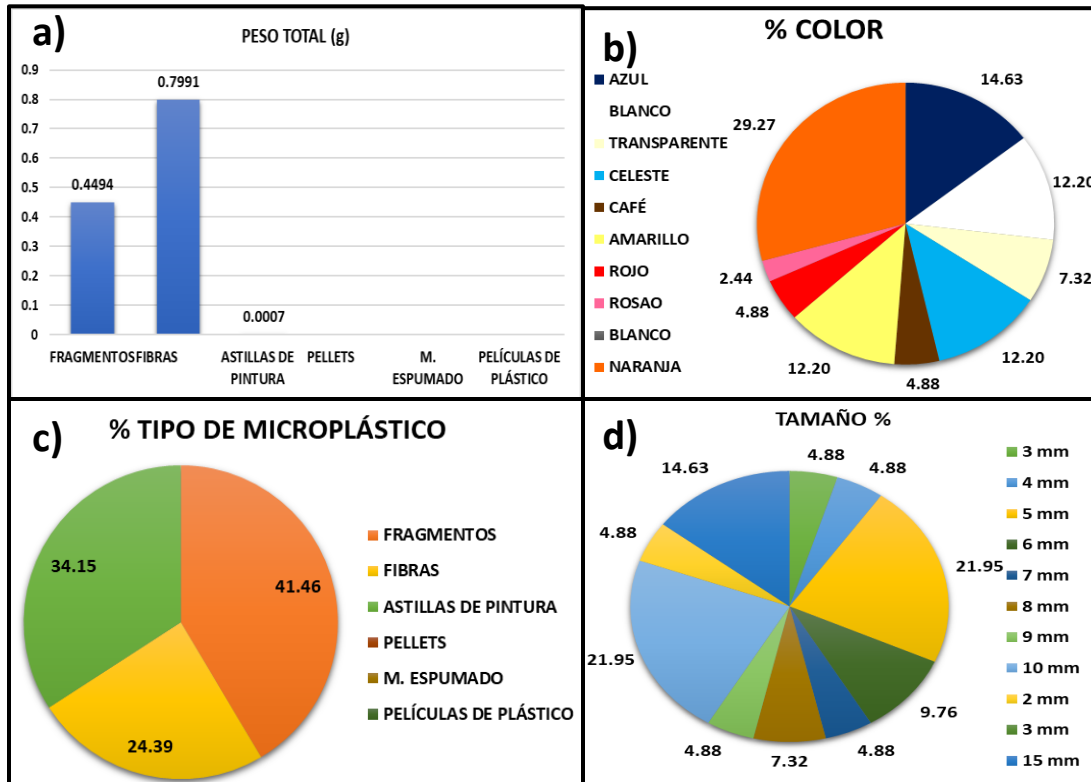


Fig. 101 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 8. Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 10

En esta muestra solo se encontró una partícula de astilla de pintura de color verde, con un tamaño de 2 mm y un peso de 0.0215 g por tal motivo abarca el 100% en los gráficos (Fig. 102 y 103).

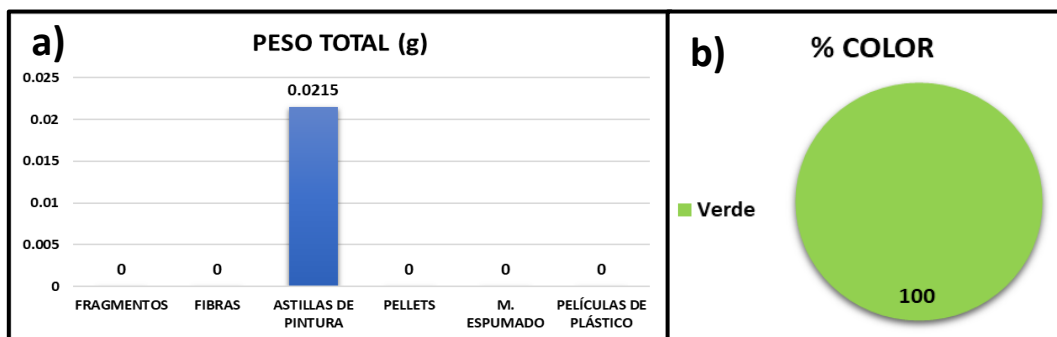


Fig. 102 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color encontrados en la muestra 10. Fuente: Archivo personal.



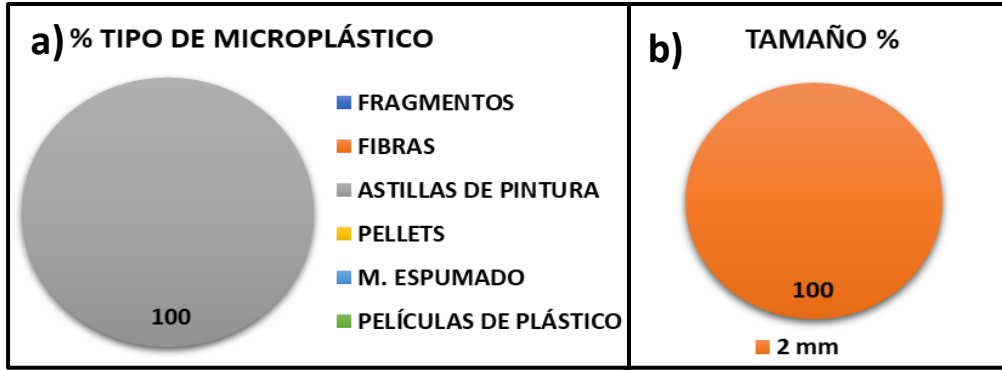


Fig. 103 Gráfico de resultados para a) tipo de microplástico y b) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 10.  
Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 11

Las partículas están distribuidas en un 50% de fibras y 50% de microplásticos espumados con tamaños de 4 a 10 mm y colores blanco y amarillo (Fig.104).

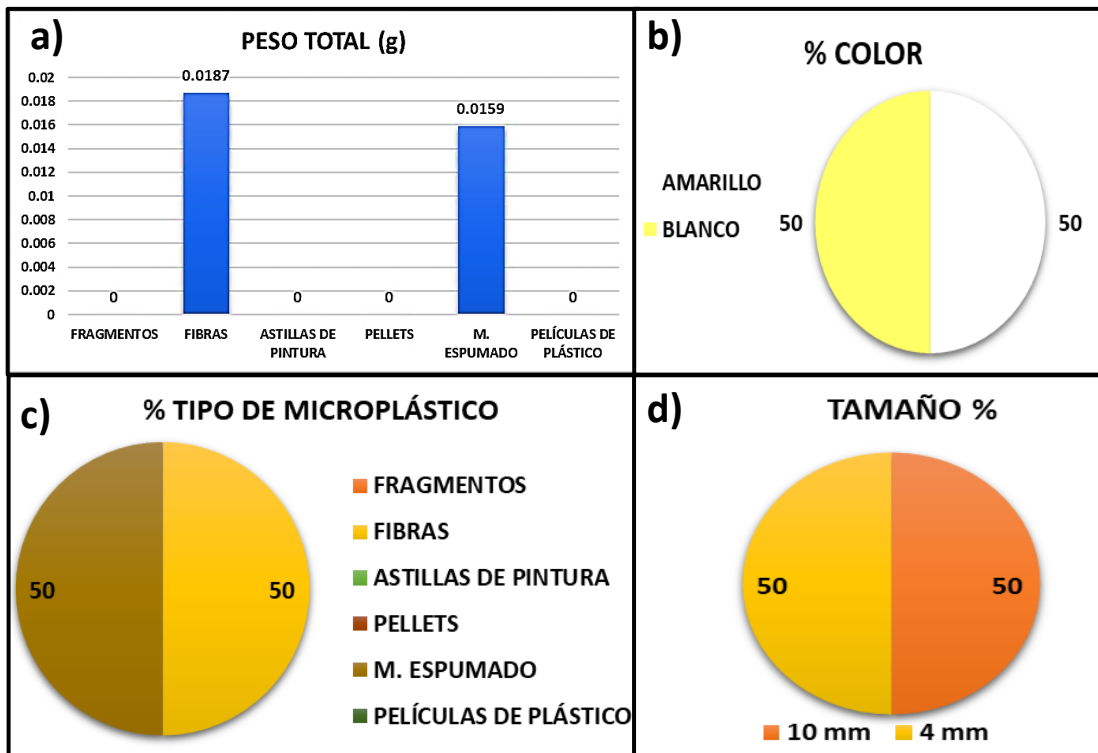


Fig. 104 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 11.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 12

Esta fue la segunda muestra en presentar abundancia de partículas integrada en un 94.87% por microplástico espumado y un 5.13% por fragmentos, el color con mayor ocurrencia fue el blanco y en menor cantidad el azul y verde.

Los tamaños variaron en un rango de 2 a 12 mm siendo el de 5 mm el más recurrente (Fig. 105).

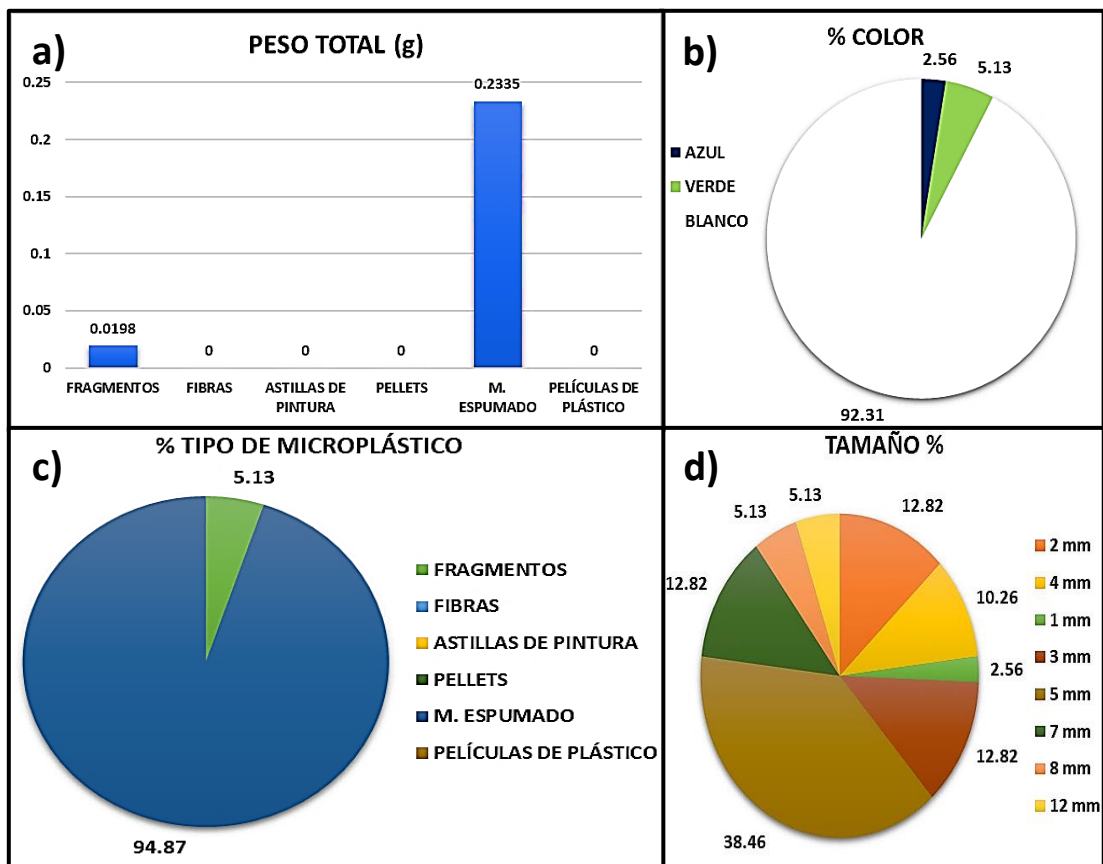


Fig. 105 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 12.

Fuente: Archivo personal.

## 2.3 MICROPLÁSTICOS EN AGUA PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020)

### RESULTADO GENERAL

El 100% de las muestras presentaron partículas microplásticas, en total se obtuvieron 247 partículas con un peso de 0.4236 g las cuales se encuentran distribuidas en las distintas clasificaciones, así mismo, presentan diferencias en el color, tamaño y forma.

El transecto 1 se encontraba a una distancia de 0.33 km de la orilla, en total se filtró 529.2 m<sup>3</sup> (529,200 L) de agua a través de la malla a una profundidad de 40 cm. En este se aislaron 247 partículas que representa 0.3282 #ítems/m<sup>3</sup>, es decir, por cada m<sup>3</sup> filtrado hay 0.3282 partículas, por otra parte, se obtuvo una concentración de 236,772.5 #ítems/km<sup>2</sup> lo que significa que en base al área muestreada debe haber una presencia de 236,772.5 partículas por kilómetro cuadrado.

El transecto 2 estuvo en una posición más alejado a la orilla con 1.12 km de distancia, el volumen filtrado por la malla fue de 551.6 m<sup>3</sup> a una profundidad de 40 cm. En este se contabilizaron 68 partículas equivalente a 0.1233 #ítems/m<sup>3</sup> y 86,294.4 #ítems/km<sup>2</sup>, el significado de esta concentración se explicó con anterioridad.

Para la muestra 1 se obtuvo un peso general de 0.3934 g y en la muestra 2 un peso de 0.0302 g, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Peso y número total de las partículas encontradas en las muestras de agua.

No. Muestra	Microplásticos encontrados	Peso (g)	#ítems/m <sup>3</sup>	#ítems/km <sup>2</sup>
Muestra 1	179	0.3934	0.3382	236,772.5
Muestra 2	68	0.0302	0.1233	86,294.4
<b>TOTAL</b>	<b>247</b>	<b>0.4236</b>		

De manera general los microplásticos encontrados está compuesto en su mayoría por fibras con un 37.65%, con un 29.96% por fragmentos y un 26.32 % de películas plásticas, siendo los de menor cantidad los microplásticos espumados y las astillas de pintura.

Fundamentándose en el peso, los fragmentos ocupan una cantidad superior con 0.1648 g seguido de las fibras con 0.0503 g, por otra parte, la distribución en el tamaño se encontró en un intervalo de 1 mm a 26 mm, el color con mayor frecuencia fue el blanco con 45.3% (Fig. 106).

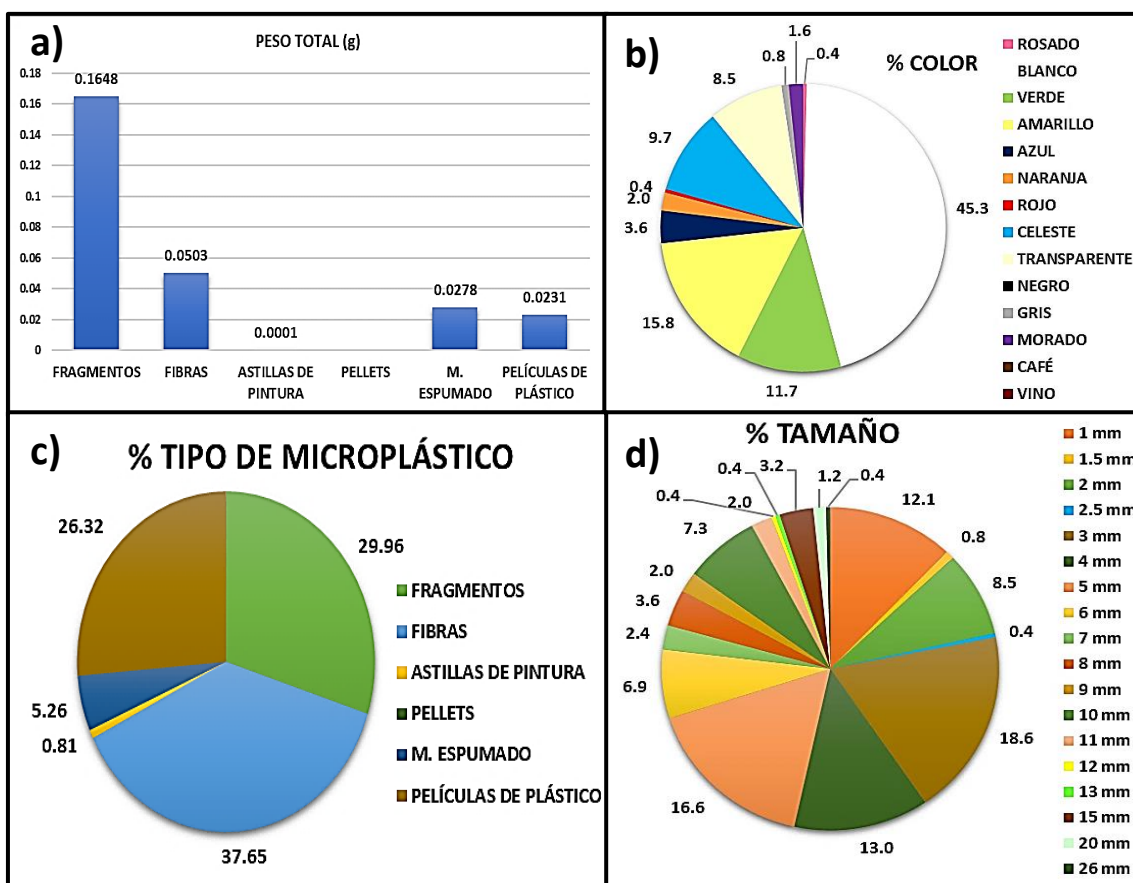


Fig. 106 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados de manera general.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 1

Las 179 partículas contenidas en la muestra está distribuida en un 39.66% por fibras, un 27.37% por fragmentos, un 26.26% por películas y el 6.70% restante por microplástico espumado, no obstante, los fragmentos presentan el mayor peso con 0.1458 g mientras tanto el color blanco se posiciona como el más observado. Los tamaños más contabilizados fueron los de 3, 4 y 5 mm (Fig. 107).

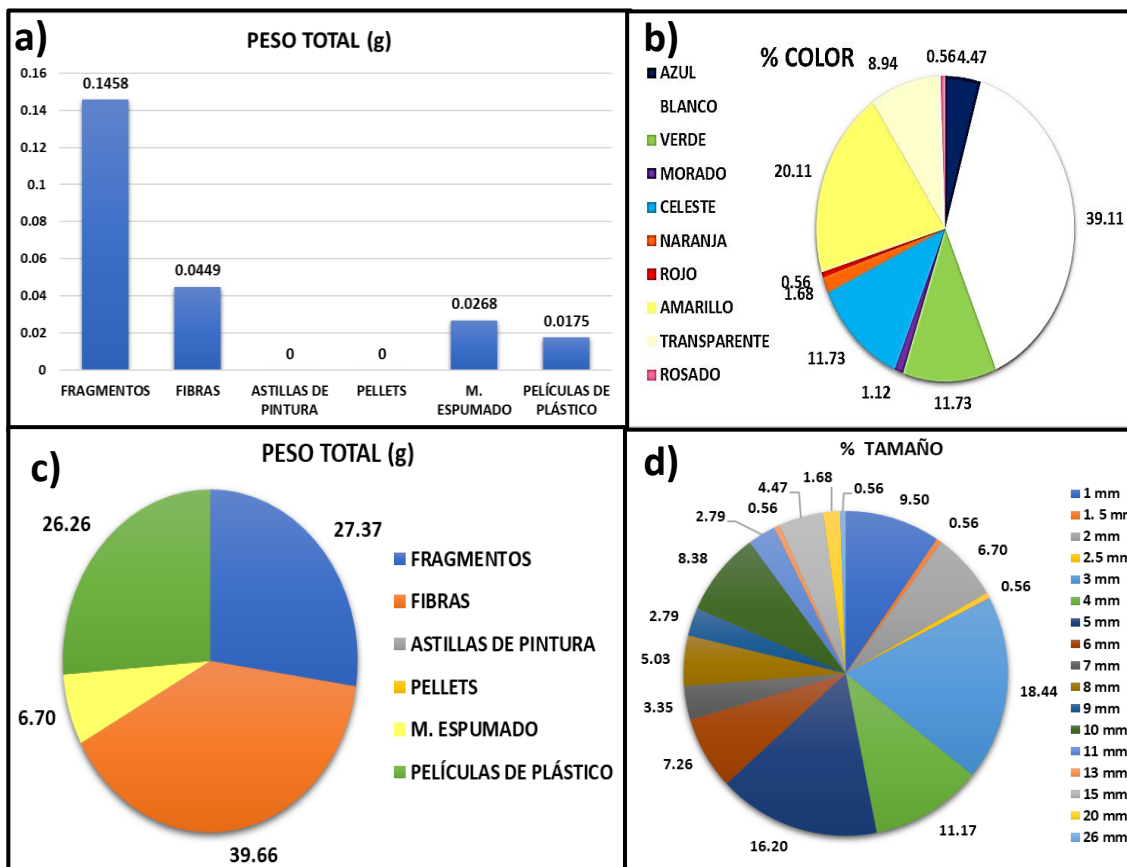


Fig. 107 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 1.  
Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 2

La muestra 2 está compuesta en un 36.76% por fragmentos, 32.35% por fibras, 27.47% de películas, 2.94% de astillas de pintura y 1.47% de microplástico espumando.

El color más registrado al igual que la muestra anterior fue el blanco logrando obtener el 61.76% por otro lado, las partículas con tamaño de 2 a 5 son los que predominan (Fig. 108).

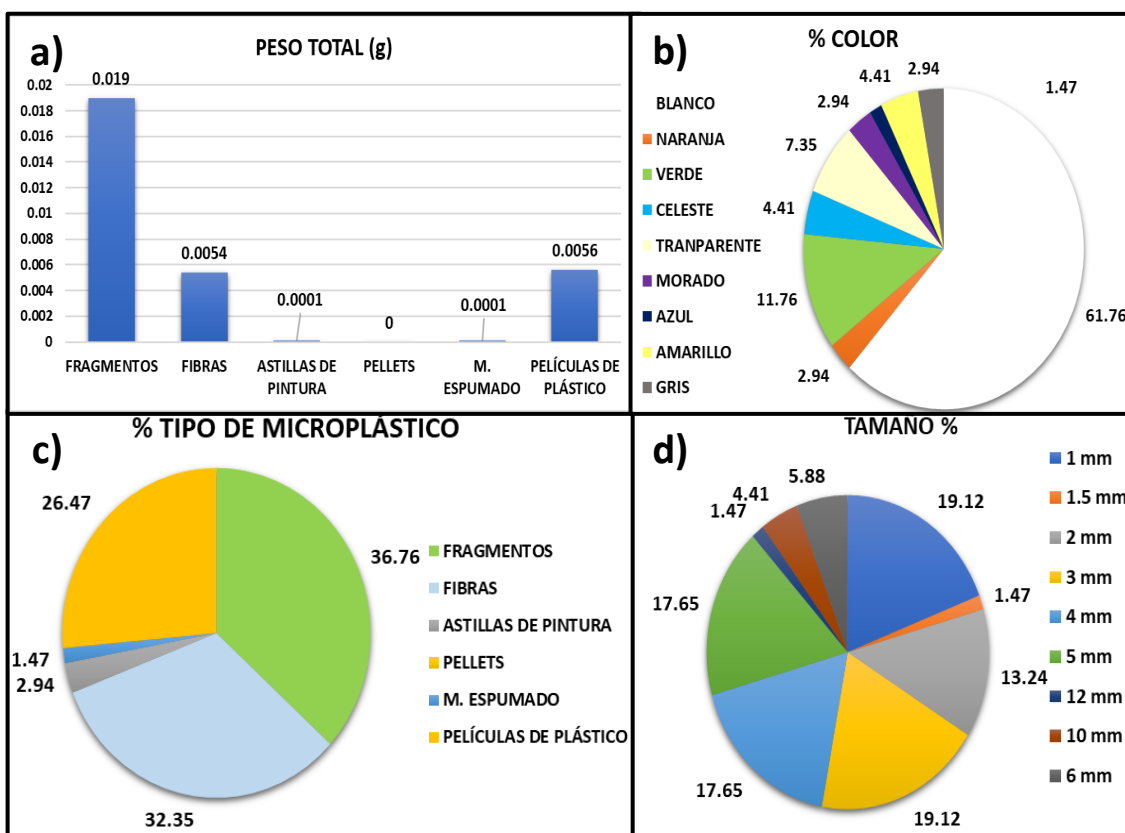


Fig. 108 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 2.  
Fuente: Archivo personal.

## 2.4 MICROPLÁSTICOS EN AGUA SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020)

### RESULTADO GENERAL

El 100% de las muestras presentaron partículas microplásticas, en total se obtuvieron 30 partículas con un peso de 0.1669 g las cuales están distribuidas en las distintas clasificaciones, así mismo, presentan diferencias en el color, tamaño y forma.

El transecto 1 se encontraba a una distancia de 0.52 km de la orilla y en total se filtró 520.8 m<sup>3</sup> (520,800 L) de agua a través de la malla a una profundidad de 40 cm. En este se extrajeron 15 partículas que representa 0.0288 #ítems/m<sup>3</sup>, es decir, por cada m<sup>3</sup> filtrado hay 0.0288 partículas, por otra parte, se obtuvo una concentración de 20,161.3 #ítems/km<sup>2</sup> lo que significa que en base al área muestreada debe haber una presencia de 20, 161.3 partículas por kilómetro cuadrado.

El transecto 2 estuvo en una posición más alejado a la orilla con 1.50 km de distancia, el volumen filtrado por la malla fue de 518 m<sup>3</sup> a una profundidad de 40 cm, al igual que la primera muestra en esta se hallaron 15 partículas equivalente a 0.0290 #ítems/m<sup>3</sup> y 20270.3 #ítems/km<sup>2</sup>.

Para la muestra 1 se obtuvo un peso general de 0.0807 g y en la muestra 2 un peso de 0.0853 g, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 16. Peso y número total de las partículas encontradas en las muestras de agua.

No. Muestra	Microplásticos encontrados	Peso (g)	#ítems/m <sup>3</sup>	#ítems/km <sup>2</sup>
Muestra 1	15	0.0807	0.0288	20161.3
Muestra 2	15	0.0853	0.0290	20270.3
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>0.1660</b>		

De manera general los microplásticos encontrados está compuesto en su mayoría por fibras con un 50%, un 36. 67% por películas plásticas, siendo los de menor cantidad los fragmentos con 13.33%.

De acuerdo con el peso, las fibras ocupan una cantidad superior con 0.86 g seguido de las películas con 0.0798 g, por otra parte, la distribución en el tamaño se encontró en un intervalo de 1 mm a 15 mm, el color con mayor frecuencia fue el blanco con 73.3% (Fig. 109).

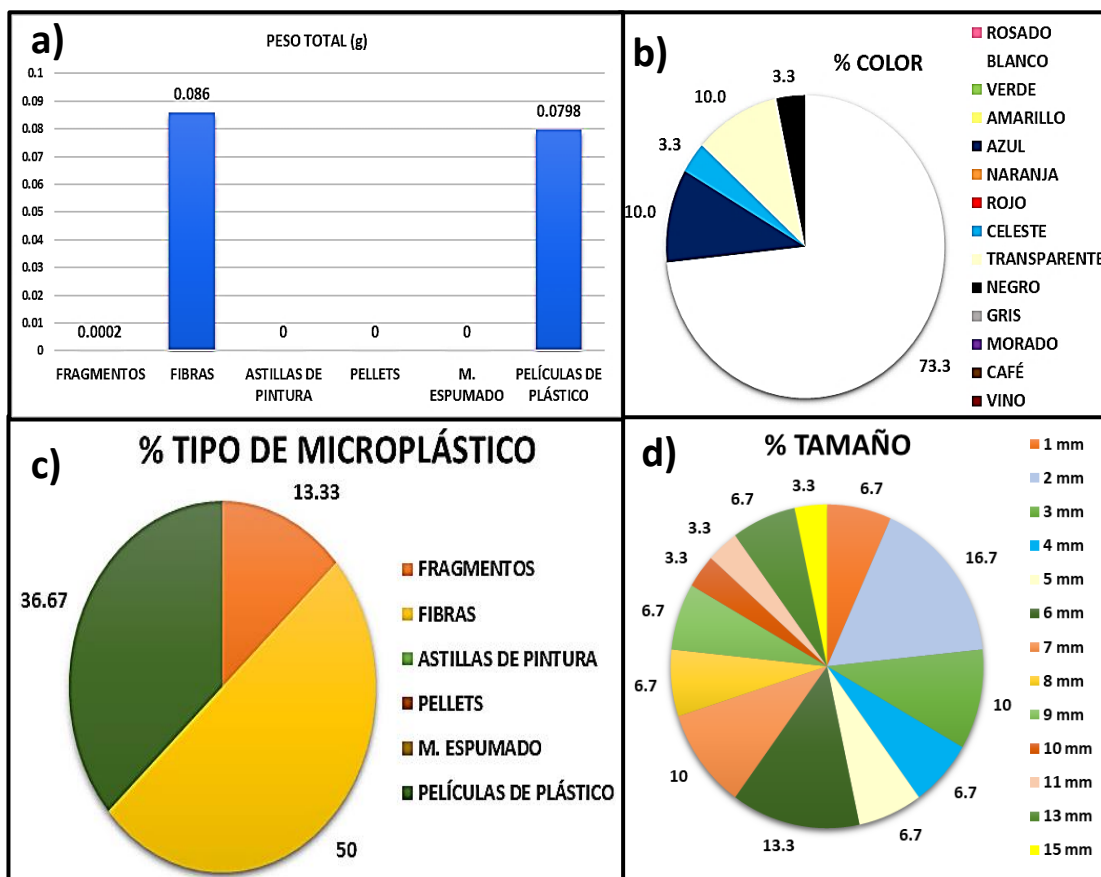


Fig. 109 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en general.  
Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 1

Los micriplásticos extraídos están integrados por el 60% de fibras, 33.33% de películas y el 6.67% de fragmentos, el color más observado fue el blanco con un 93.33% y el resto fue de color transparente, en base al tamaño los más contabilizados fueron los de 2, 5, 6, 7 y 9 mm (Fig. 110).



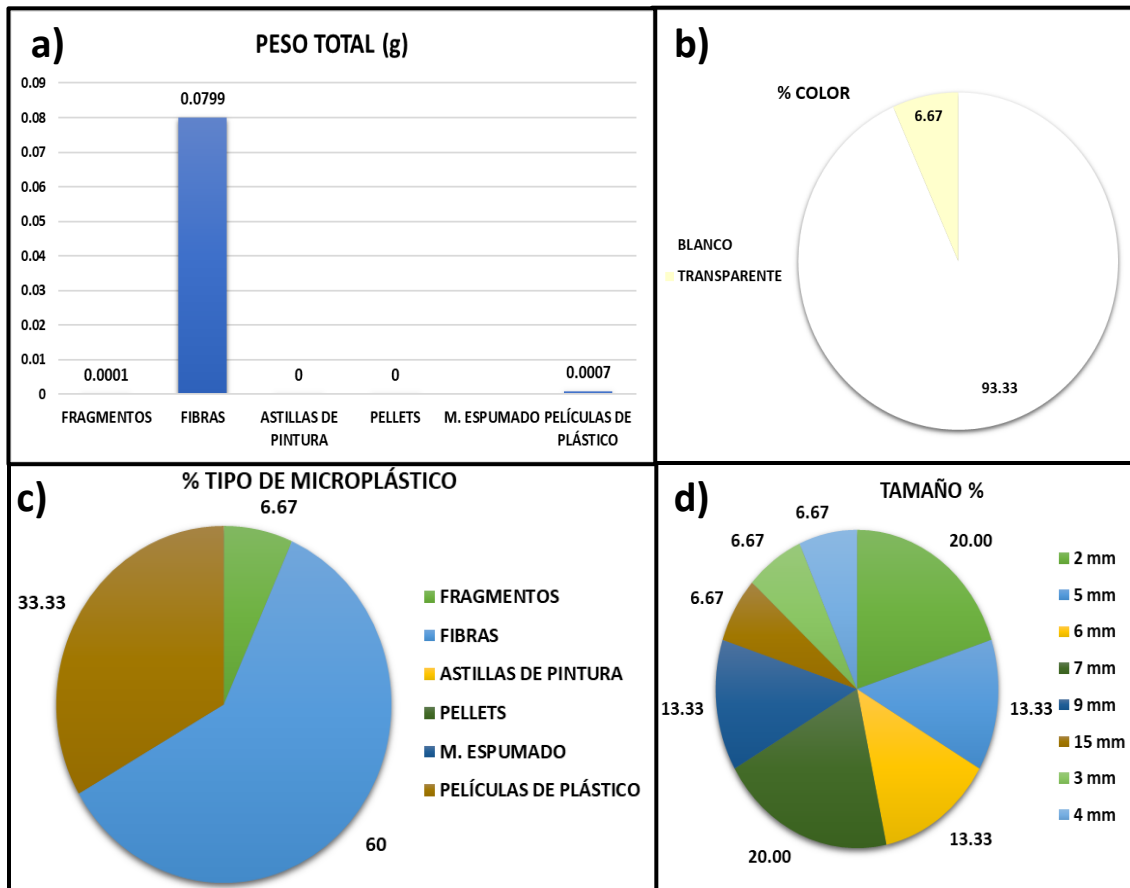


Fig. 110 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 1.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 2

Los micriplásticos extraídos están integrados por el 60% de fibras, 33.33% de películas y el 6.67% de fragmentos, el color más observado fue el blanco con un 93.33% y el resto fue de color transparente, en base al tamaño los más contabilizados fueron los de 2, 5, 6, 7 y 9 mm (Fig. 111).

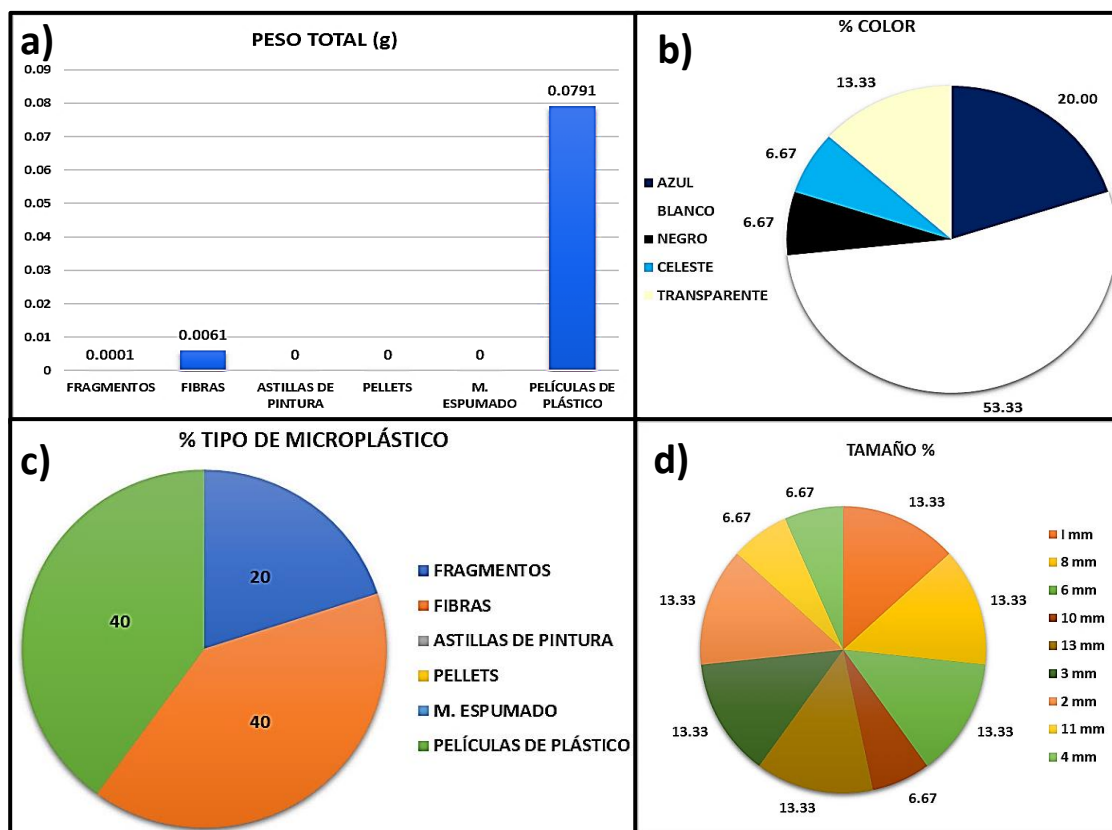


Fig. 111 Gráfico de resultados para a) peso total, b) porcentaje de color, c) tipo de microplástico y d) porcentaje de tamaño encontrados en la muestra 2. Fuente: Archivo personal.

## 2.5 MICROPLÁSTICOS EN TILAPIA (*Oreochromis aureus*) PRIMER MUESTREO (SEPTIEMBRE 2020).

El 100% de los individuos diseccionados presentaron microplásticos en sus tractos digestivos, las muestras correspondientes al primer muestreo estuvieron compuesta por 6 ejemplares de Tilapia (*Oreochromis aureus*).

En comparación con las muestras de sedimento y de agua, las partículas presentes en el tracto digestivo no se pesaron ni se midieron debido a su microscópico tamaño lo que hizo imposible su extracción.

Los avistamientos de partículas fueron capturados en imágenes y contabilizados encontrándose un total de 39 microplásticos de los cuales el 97.22% está compuesto por fibras de característica variable tanto en color y forma, cabe

mencionar que en las imágenes presentadas no se logra apreciar bien su coloración, sin embargo a través del microscopio su color y forma estaban bien definidas, entre ellos se encuentran fibras de color azul, celeste, negro, rojo, por otro lado, el 2.78% restante está ocupado por una película transparente. A continuación, se muestran las imágenes de los microplásticos encontrados en cada individuo.

### **MUESTRA 1**

En el individuo etiquetado como muestra 1 se encontraron 10 partículas de fibras de las cuales, 7 son de color negro, 1 rojo y 2 celeste (Fig. 112 y 113).

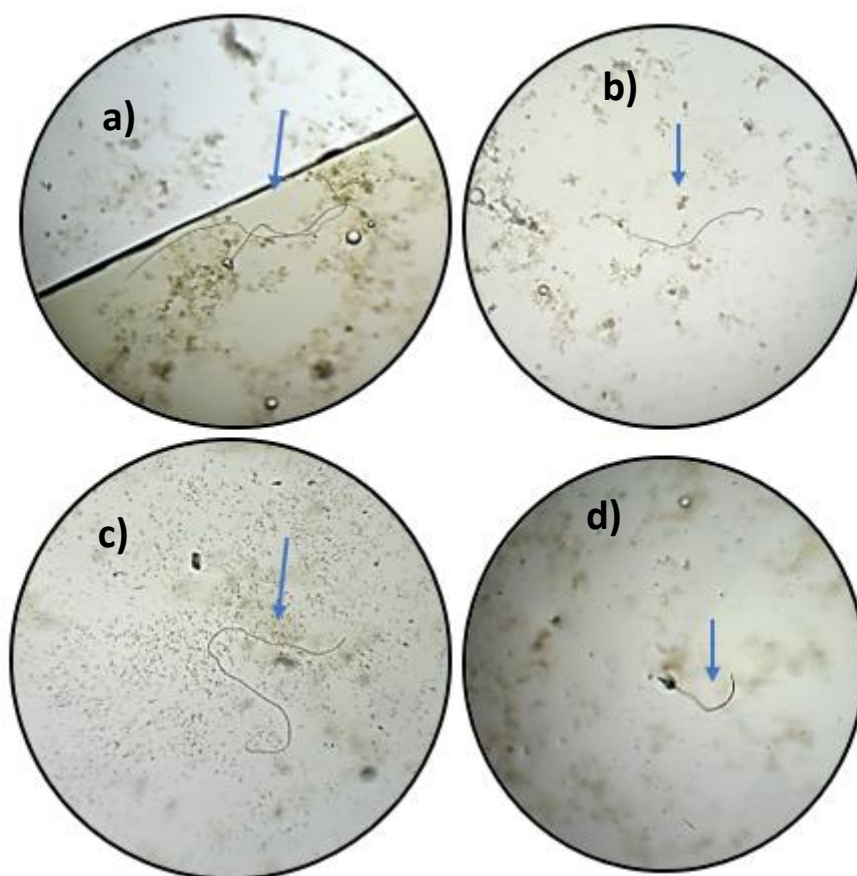


Fig. 112 Fotografía de a), b) y c) fibras delgadas y largas de color negro, b) fibra corta de color rojo observado a través del microscopio.

Fuente: Archivo personal.

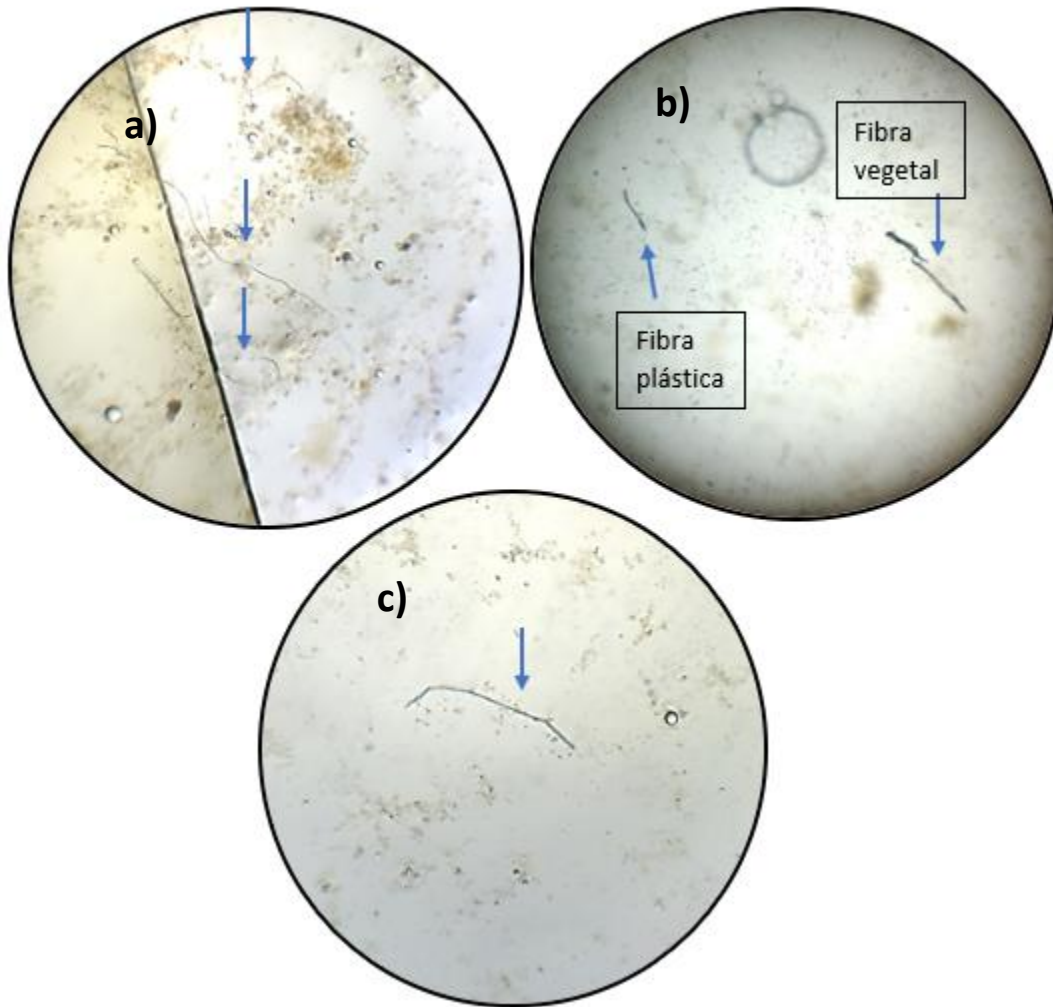


Fig. 113 Fotografía de a) fibras delgadas de color negro, b) y c) fibras de color celeste observado a través del microscopio.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 2

En este individuo se observaron un total de 19 fibras de las cuales 3 son azules, 9 rojos y 7 negros (Fig. 114, 115 y 116).

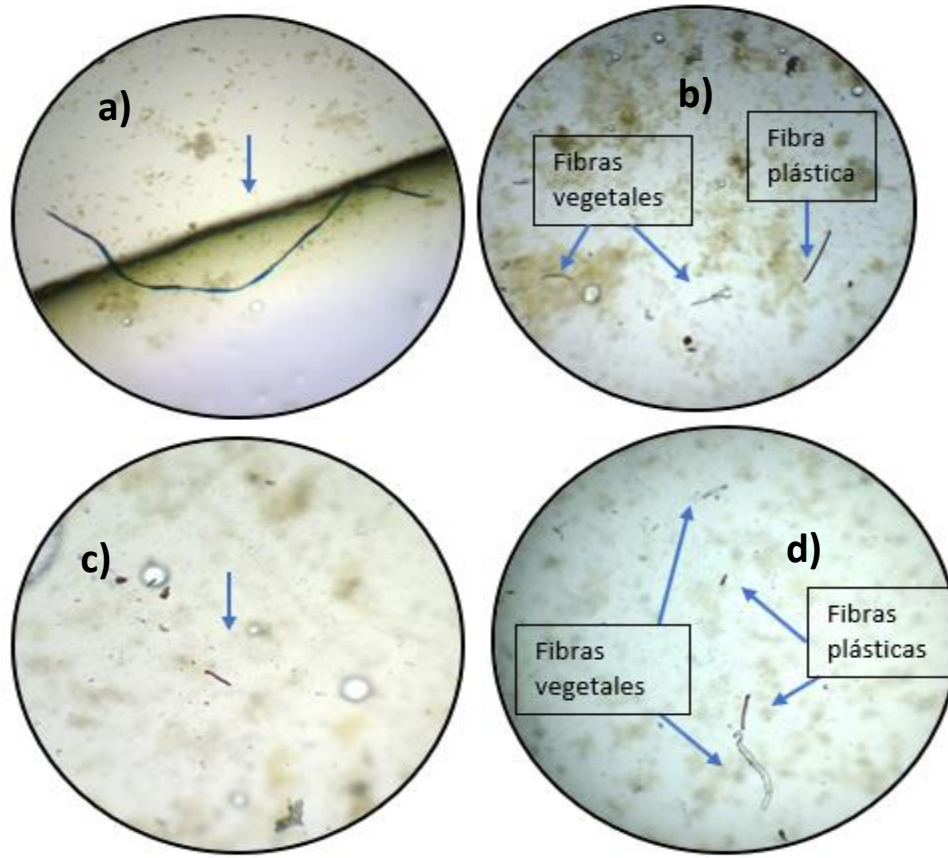


Fig. 114 Fotografía de a) fibra larga de color azul, b) fibra de color negro, c) y d) fibras de color rojo observado a través del microscopio.

Fuente: Archivo personal.

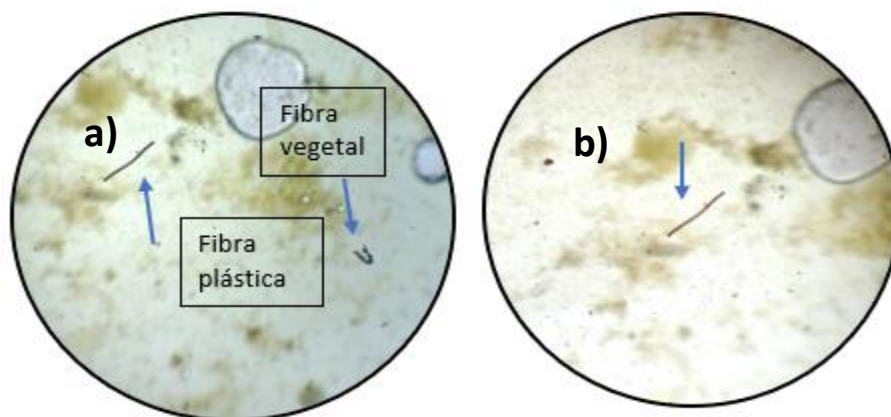


Fig. 115 Fotografía de a) y b) fibras cortas de color rojo observado a través del microscopio.

Fuente: Archivo personal.

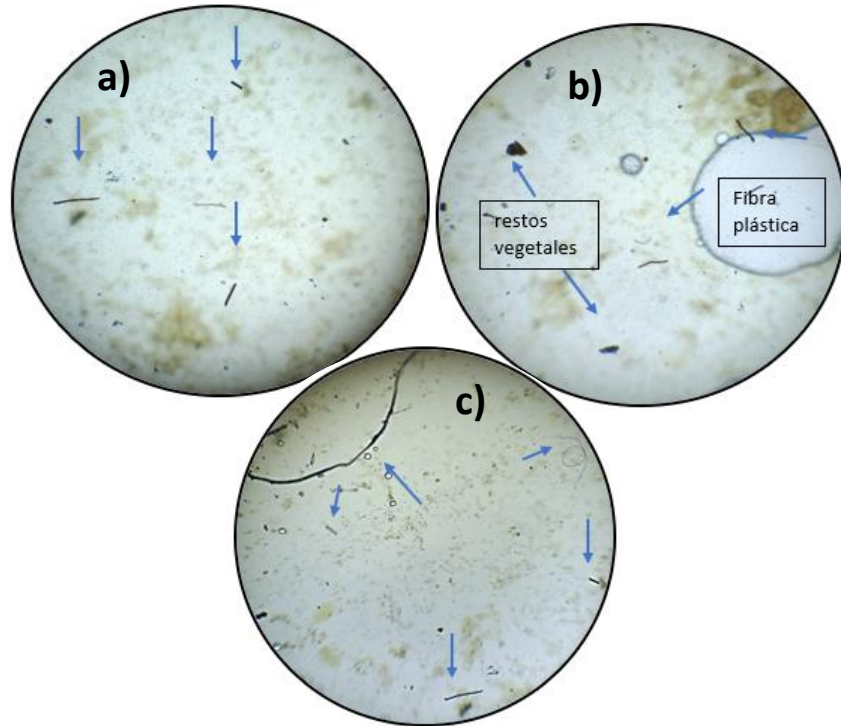


Fig. 116 Fotografía de a) y b) fibras cortas de color rojo y negro, c) fibra grande y chica de color azul y tres fibras de color negro observado a través del microscopio.

Fuente: Archivo personal.

### MUESTRA 3

Se encontraron en el tracto digestivo 1 película transparente, una fibra color rojo y dos fibras delgadas color negro (Fig.117).

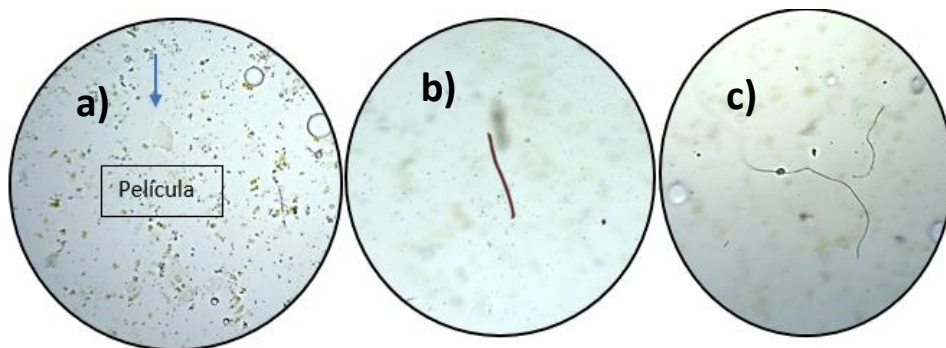


Fig. 117 Fotografía de a) película transparente, b) fibra color rojo y c) fibras color negro observado a través del microscopio.

Fuente: Archivo personal.

#### **MUESTRA 4**

En este ejemplar solo se encontró una fibra recta de color rojo (Fig.118).



Fig. 118 Fotografía de una fibra color rojo encontrada en la muestra 4.

Fuente: Archivo personal.

#### **MUESTRA 5**

Al igual que la muestra anterior solo se observó una fibra, la única diferencia es que esta es de color celeste (Fig. 119).

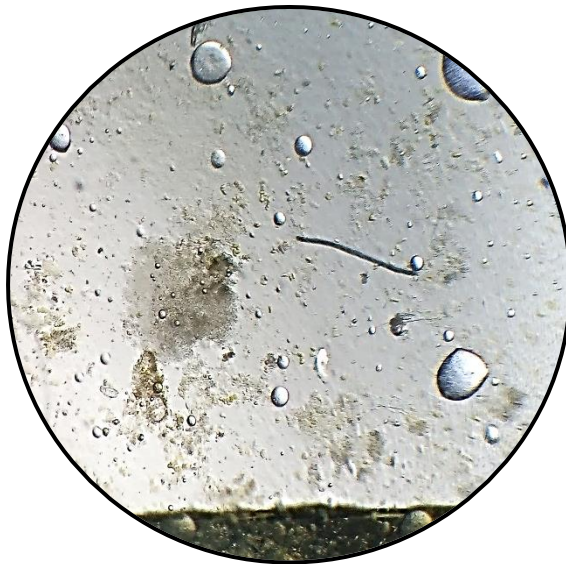


Fig. 119 Fotografía de una fibra color celeste encontrada en la muestra 5.

Fuente: Archivo personal.

## MUESTRA 6

Las partículas encontradas en el tracto digestivo de la muestra 6 fueron 2 fibras rojas, 1 celeste y 1 azul (Fig. 120).

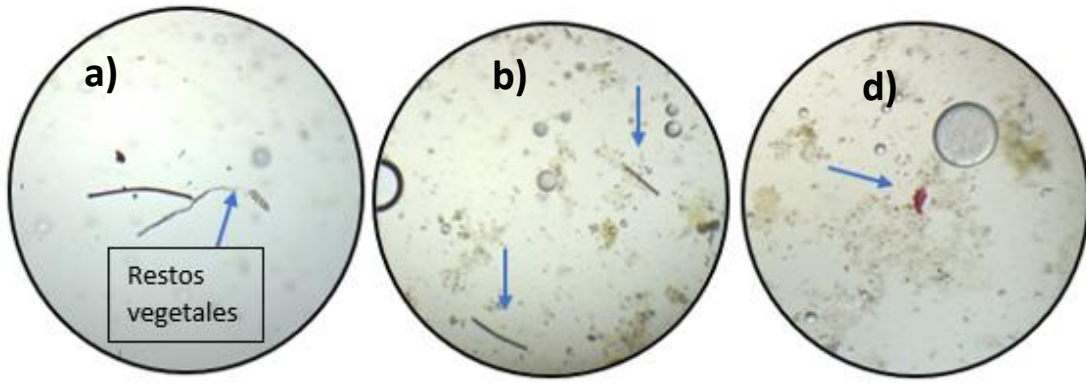


Fig. 120 Fotografía de a) fibra color azul y restos vegetales, b) fibra roja y celeste, c) fibra color rojo encontrada en la muestra 5.

Fuente: Archivo personal.

## 2.6 MICROPLÁSTICOS EN TILAPIA (*Oreochromis aureus*) SEGUNDO MUESTREO (NOVIEMBRE 2020).

En el segundo muestreo los individuos diseccionados no tuvieron presencia de microplásticos en el tracto digestivo, por tanto, el 100% de las muestras solo contenían restos vegetales y algas.



### 3. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo principal del trabajo de investigación, que fue evidenciar la presencia de microplásticos en el agua, sedimento y tracto digestivo de Tilapia (*Oreochromis aureus*) proveniente de la Laguna de Catemaco, de manera que los hallazgos obtenidos en esta investigación constituyen la primera evidencia sólida sobre la presencia de microplásticos en los tres ambientes naturales estudiados, lo que evidencia la contaminación causada por la actividad antropogénica.

El 75 % de las muestras de sedimento presentaron partículas microplásticas, siendo las más abundantes las fibras, las astillas de pintura y el microplástico espumado.

En el segundo muestreo hubo un ligero aumento en el número de partículas encontradas, esta variación podría ser atribuida a que la ubicación en la toma de muestras no fue la misma que en la primera.

El 100% de las muestras de agua, contenían microplásticos, siendo más abundantes en el muestreo de septiembre con un total de 247 partículas que en el mes de noviembre con 30 partículas.

El 100% de las muestras de agua manifestaron microplásticos con un total de 247 partículas en el mes de septiembre y 30 en el mes de noviembre con una predominancia de fragmentos y fibras, y para el color los más encontrados fueron blanco, amarillo y transparente.

En relación al análisis fisicoquímico, se encontró que tanto el pH como el color se hallan por arriba del límite establecido por la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, la turbidez cercana al límite y el CO<sub>2</sub> mayor en el mes de septiembre, lo cual es congruente con los hallazgos de microplásticos.

En todos los individuos estudiados (*Oreochromis aureus*) en el mes de septiembre, se evidenció mediante la observación al microscopio óptico, la presencia de fibras de diversas formas, tamaño y grosor, lo que indica que en la columna de agua hay partículas microplásticas disponibles, que son consumidas erróneamente o retenidas durante la respiración de estos organismos.

Sin embargo, en el mes de noviembre ningún ejemplar presentó microplásticos, no obstante, la abundancia de los peces es amplia y se encuentra distribuida por toda la laguna, otro factor que pudo intervenir es la zona en la que se pesca el cual es elegido por el pescador y es variable, por estas razones es probable que se ve afectado el resultado.

La presencia de microplásticos en estos tres medios es alarmante ya que forman parte de un ecosistema en donde interactúan diferentes especies, estos residuos se introducen en la cadena alimenticia y son ingeridos de manera accidental ocasionando problemas en los organismo o bioacumulación y retención de ellos, este último es de mayor relevancia ya que muchas de ellas son extraídas para su consumo y de esta forma puede introducirse en el ser humano.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar mayores estudios de investigación que complementen este trabajo, ampliando los periodos de muestreo ampliando los periodos de muestreo y abarcando más zonas alrededor de la laguna.
2. Mejorar el sistema de alcantarillado público mediante la colocación de cribas con abertura de malla de 1 mm, así como la instalación de una red de drenaje en el desagüe principal con el fin de retener todo tipo de residuos.
3. Realizar programas de limpieza en toda la orilla de la laguna que se encuentra frente al municipio para evitar que los macroplásticos se conviertan en microplásticos.
4. Colocación de letreros que indiquen la prohibición de arrojar residuos al suelo o agua, así como botes de basura en todo el tramo del malecón.
5. Que la administración pública tome acciones y sancione a personas que se sorprendan arrojando o quemando basura cerca de la laguna.
6. Crear programas de concientización sobre la contaminación plástica dirigido a la población y en especial a pescadores, comerciantes y restauranteros que se encuentran cerca de la laguna y se benefician de ella.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. García, “Referencias históricas y evolución de los plásticos”, *Revista Iberoamericana de polímeros*, vol. 10, núm. 1, pp. 71–80, 2009, doi: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE09/garcia.pdf>.
- [2] G. Bolívar, “Policloruro de Vinilo: Historia, Estructura, Propiedades y Usos”, *Lifeder*, may 03, 2018. <https://www.lifeder.com/policloruro-vinilo/> (consultado feb. 27, 2020).
- [3] “Historia de los plásticos”, *Abc Pack*. <https://www.abc-pack.com/enciclopedia/historia-de-los-plasticos/> (consultado feb. 16, 2020).
- [4] M. L. Berins, *SPI Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Inc.* Springer Science & Business Media, 2012.
- [5] I. Baker, *Fifty Materials That Make the World*. Springer, 2018.
- [6] C. Á. Quesada, I. P. Ramírez, J. S. C. Baracaldo, y C. G. Álvarez, “Gutapercha: pasado y presente”, *Gaceta dental: Industria y profesiones*, núm. 202, pp. 126–139, 2009.
- [7] “Parkesina”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. feb. 06, 2020, Consultado: feb. 16, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Parkesina&oldid=123337165>.
- [8] J. L. White, *Fifth of a Series: Pioneer of Polymer Processing John Wesley Hyatt (1837–1920)*. Carl Hanser Verlag, 1999.
- [9] F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, y A. Fucic, *Toxicity of Building Materials*. Elsevier, 2012.
- [10] M. E. Snodgrass, *Encyclopedia of Kitchen History*. Routledge, 2004.
- [11] C. F. Kettering, “Biographical Memoir of Leo Hendrik Baekeland, 1863–1944”, *National Academy of Sciences*, 1946, doi: <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/baekeland-leo-h.pdf>.
- [12] R. Mulhaupt, “Essay: International Historic Chemical Landmark: The Foundation of Polymer Science by Hermann Staudinger (1881-1965)”, *Macromolecular Chemistry and Physics*, vol. 200, núm. 8, 1999, [En línea]. Disponible en: <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/staudingerpolymerscience/foundation-of-polymer-science-by-herman-staudinger-commemorative-booklet.pdf>.
- [13] W. L. Semon y G. A. Stahl, “History of vinyl chloride polymers”, *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, vol. 15, núm. 6, pp. 1263–1278, abr. 1981, doi: 10.1080/00222338108066464.
- [14] R. Adams, *Biographical Memoir of Wallace Hume Carothers, 1896-1937*. National Academy of Sciences, 1939.
- [15] S. Jagtap y K. Bangad, “Review on Conventional Polyurethane Foam and an Alternative to Isocyanate”.
- [16] L. Trossarelli y V. Brunella, “Polyethylene: Discovery and growth”, 2003, [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/228813221\\_Polyethylene\\_discovery\\_and\\_growth](https://www.researchgate.net/publication/228813221_Polyethylene_discovery_and_growth).
- [17] D. H. Keifer, *The Establishment of Modern Polymer Science by Wallace H. Carothers: Wilmington, Delaware, November 17, 2000*. American Chemical Society, 2000.
- [18] T. Michels, “How polyethene came about”, *Europhysics News*, vol. 49, núm. 4, pp. 19–22, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/ePN/2018403>.
- [19] M. E. Bowden, *Chemical Achievers: The Human Face of the Chemical Sciences*. Chemical Heritage Foundation, 1997.

- [20] L. E. Amborski y D. W. Flierl, "Physical Properties of Polyethylene Terephthalate Films". <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie50526a042> (consultado feb. 28, 2020).
- [21] American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks, "Polypropylene and High-density Polyethylene", *American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks*. <https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/polypropylene.html> (consultado mar. 03, 2020).
- [22] M. W. Haenel, "Karl Ziegler", *Nachrichten aus Chemie und Technik*, vol. 4, núm. 6, pp. 78–79, 1956.
- [23] G. Natta, "From Stereospecific Polymerization to Asymmetric Autocatalytic Synthesis of Macromolecules", *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 38, núm. 1, pp. 37–60, mar. 1965, doi: 10.5254/1.3535636.
- [24] N. C. Wyeth, "Inventing the PET Bottle", *Research-Technology Management*, vol. 31, núm. 4, pp. 53–55, jul. 1988, doi: 10.1080/08956308.1988.11670536.
- [25] R. B. Seymour y C. E. Carraher, *Introducción a la química de los polímeros*. Reverte, 1995.
- [26] H. Lintsen, M. Hollestelle, y R. Höllgens, "The plastics revolution", *How the Netherlands became a global player in plastics. Eindhoven: Stichting Historie der Techniek*, 2017, [En línea]. Disponible en: [https://www.polymers.nl/\\_asset/\\_public/News/First-instalment-The-Plastics-Revolution.pdf](https://www.polymers.nl/_asset/_public/News/First-instalment-The-Plastics-Revolution.pdf).
- [27] Science History Institute, "History and future of plastics", *Science History Institute*, jul. 18, 2016. <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics> (consultado mar. 03, 2020).
- [28] É. Hermida, "Polímeros", en *Materiales y materias primas*, República Argentina., 2011.
- [29] A. Eltayef, *Plastic*. 2003.
- [30] M. I. Beltrán, "Tema 1. Estructura y propiedades de los polímeros", *Tecnología de los Polímeros*, 2011, [En línea]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>.
- [31] M. L. C. Alvarez, *El ABC de los plásticos*. Universidad Iberoamericana, 1997.
- [32] Universitat Politècnica de Catalunya, "Plásticos". Consultado: mar. 05, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6174/03\\_Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6174/03_Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y).
- [33] R. Klein, *Laser Welding of Plastics: Materials, Processes and Industrial Applications*. John Wiley & Sons, 2012.
- [34] F. W. Billmeyer, *Ciencia de los polímeros*. Reverte, 1975.
- [35] M. I. Beltrán, "Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado", *Tecnología de los Polímeros*, 2011, [En línea]. Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema2.pdf>.
- [36] A. Bueno, "Unidad didáctica 'Materiales Plásticos, Polímeros'". Scribd, Consultado: mar. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: [http://www.portaleso.com/plasticos/unidad\\_didactica\\_plasticos.pdf](http://www.portaleso.com/plasticos/unidad_didactica_plasticos.pdf).
- [37] P. Eyerer, "Plastics: Classification, Characterization, and Economic Data", en *Polymers - Opportunities and Risks I: General and Environmental Aspects*, P. Eyerer, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, pp. 1–17.
- [38] Santillana Educación, S. L, "Plásticos". Consultado: mar. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700381/helvia/sitio/upload/tema1\\_1.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700381/helvia/sitio/upload/tema1_1.pdf) - Buscar con Google.
- [39] M. Socas, "Contaminación por residuos: Islas de plástico Trabajo de fin de grado Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Sección de náutica, máquinas y radioelectrónica naval", *Universidad de La Laguna*, p. 65, 2018.

- [40] S. Lambert y M. Wagner, "Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: an overview", en *Freshwater microplastics*, Springer, Cham, 2018, pp. 1–23.
- [41] M. Pereiras Varela, "Contaminación marina por plásticos", 2019, Consultado: feb. 15, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/24187>.
- [42] GESAMP, "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*, p. 220, 2016.
- [43] P. Clunies-Ross, "Plastics in the Environment: Te Ao Hurihuri–The Changing World Evidence Summary", *researchgate*, 2019, [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/335338250\\_Plastics\\_in\\_the\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/335338250_Plastics_in_the_Environment).
- [44] G. A. Perdomo M., "Plásticos y medio ambiente", *Revista Iberoamericana*, vol. 3, pp. 1–13, 2002.
- [45] M. A. Browne *et al.*, "Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks", oct. 04, 2011. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es201811s> (consultado may 28, 2020).
- [46] L. S. Fendall y M. A. Sewell, "Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 58, núm. 8, pp. 1225–1228, ago. 2009, doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.04.025.
- [47] A. Lusher, P. Hollman, y J. Mendoza-Hill, "Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety", *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, núm. 615, p. 147, 2017.
- [48] DOF, "Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos". 2003, Consultado: mar. 30, 2020. [En línea]. Disponible en: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_190118.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf).
- [49] SEMARNAT, "Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde." 2015, Consultado: mar. 30, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html#tema1>.
- [50] Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), "Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales". Consultado: abr. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicoSobreGeneracionRecoleccion.pdf>.
- [51] DOF, "Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003". 2003, Consultado: abr. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>.
- [52] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, "Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos". 2012, Consultado: abr. 06, 2020. [En línea]. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico\\_basico\\_extenso\\_2012.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf).
- [53] R. Elías, "Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar", *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, vol. 27, pp. 83–105, 2015.
- [54] B. P. Bustamante, "La degradación de los plásticos", *Revista Universidad EAFIT*, vol. 30, núm. 94, pp. 67–86, 2012.
- [55] A. L. Andrady, "Persistence of plastic litter in the oceans", en *Marine anthropogenic litter*, Springer, Cham, 2015, pp. 57–72.

- [56] “Deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales – ciencia y diseño”. <https://www.doctordanielmunoz.com/deterioro-de-las-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/> (consultado jun. 15, 2020).
- [57] D. Uribe, D. Giraldo, S. Gutiérrez, y F. Merino, “Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú”, *Revista Peruana de Biología*, vol. 17, núm. 1, pp. 133–136, abr. 2010.
- [58] A. Martín Peraza, “Estudio preliminar de la biodegradación de plásticos por bacterias marinas”, Trabajo de fin de grado, Universidad de la Laguna, España, 2017.
- [59] P. Bombelli, C. J. Howe, y F. Bertocchini, “Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*”, *Current Biology*, vol. 27, núm. 8, pp. R292–R293, abr. 2017, doi: 10.1016/j.cub.2017.02.060.
- [60] J. P. G. L. Frias, P. Sobral, y A. M. Ferreira, “Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 60, núm. 11, pp. 1988–1992, nov. 2010, doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.030.
- [61] R. A. Sarria Villa y J. A. Gallo Corredor, “La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos”, *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 8, núm. 1, pp. 21–27, 2016.
- [62] A. L. Lusher, N. A. Welden, P. Sobral, y M. Cole, “Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates”, *Analytical Methods*, vol. 9, núm. 9, pp. 1346–1360, 2017, doi: 10.1039/C6AY02415G.
- [63] E. Rojo-Nieto y T. Montoto Martínez, *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. Ecologistas en Acción, 2017.
- [64] R. M. Blair, S. Waldron, V. Phoenix, y C. Gauchotte-Lindsay, “Micro- and Nanoplastic Pollution of Freshwater and Wastewater Treatment Systems”, *Springer Science Reviews*, vol. 5, núm. 1, pp. 19–30, dic. 2017, doi: 10.1007/s40362-017-0044-7.
- [65] C. Arthur, J. Baker, y H. Bamford, “International research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris”, en *Conference Proceedings. Sept*, 2008, pp. 9–11.
- [66] J. A. García Regueiro, “Microplásticos en el medio ambiente y su impacto en la cadena trófica”, jul. 2019, Consultado: feb. 01, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/99246>.
- [67] R. M. Galvín, A. R. Sanz, M. P. Faus, L. M. Salmerón, M. Borrego, y R. P. Recuerda, “Microplásticos en aguas: presencia, investigación y potencial incidencia sanitaria sobre el ser humano”, *Tecnoaqua*, núm. 36, pp. 76–86, 2019.
- [68] A. L. Andrady, “Microplastics in the marine environment”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, núm. 8, pp. 1596–1605, ago. 2011, doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
- [69] P. Campoy y R. Beiras, “Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos.”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 189, núm. 11, p. 581, 2019.
- [70] C. Bollaín Pastor y D. V. Agulló, “Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública”, *Rev Esp Salud Pública*, vol. 93, núm. 28, p. 10, 2019.
- [71] V. Hidalgo-Ruz, D. Honorato, M. Gatta, y M. Thiel, “Tercer muestreo nacional de basura en playas de Chile 2016 y resultados comparativos con campañas 2008-2012”.
- [72] M. Kovač Viršek, A. Palatinus, Š. Koren, M. Peterlin, P. Horvat, y A. Kržan, “Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis”, *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, núm. 118, p. e55161, 2016.
- [73] S. Purca y A. Henostroza, “Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú”, *Revista peruana de biología*, vol. 24, núm. 1, pp. 101–106, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>.

- [74] F. López-Monroy, “Microplásticos en el ambiente marino”, *SABER*, vol. 31, pp. 66–81, oct. 2019.
- [75] W. Wang y J. Wang, “Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 108, pp. 195–202, nov. 2018, doi: 10.1016/j.trac.2018.08.026.
- [76] J. S. Hanvey, P. J. Lewis, J. L. Lavers, N. D. Crosbie, K. Pozo, y B. O. Clarke, “A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments”, *Anal. Methods*, vol. 9, núm. 9, pp. 1369–1383, mar. 2017, doi: 10.1039/C6AY02707E.
- [77] M. Á. Toledo Martínez, “Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro (nano) plásticos en el medioambiente y en la biota marina”, 2019.
- [78] M. G. J. Löder y G. Gerdt, “Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics—A Critical Appraisal”, en *Marine Anthropogenic Litter*, M. Bergmann, L. Gutow, y M. Klages, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 201–227.
- [79] A. A. Koelmans, N. H. Mohamed Nor, E. Hermsen, M. Kooij, S. M. Mintenig, y J. De France, “Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality”, *Water Research*, vol. 155, pp. 410–422, may 2019, doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054.
- [80] S. Klein, I. K. Dimzon, J. Eubeler, y T. P. Knepper, “Analysis, occurrence, and degradation of microplastics in the aqueous environment”, en *Freshwater microplastics*, Springer, Cham, 2018, pp. 51–67.
- [81] J. Masura, J. E. Baker, G. D. Foster, C. Arthur, y C. Herring, “Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments”, *NOAA International Repository*, p. 39, 2015.
- [82] INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, “Protocolo de muestreo y análisis de micriplástico en aguas marinas superficiales, sedimentos de playas y tracto digestivo de peces”, p. 21, 2017.
- [83] J. M. Díaz Domínguez y K. del C. Sarria Sacasa, “Microplásticos en las costas del Pacífico de Nicaragua”, *Revista Compromiso Socia*, vol. 1, núm. 2, p. 10, 2019.
- [84] D. Cabrera Dorta, “Determinación de la presencia de microplásticos en las playas de Tenerife”, Trabajo de fin de grado, Universidad de la Laguna, España, 2018.
- [85] R. Manrique, “Microplásticos sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú”, Pontifica Universidad Católica de Perú, Perú, 2019.
- [86] A. Besley, M. G. Vijver, P. Behrens, y T. Bosker, “A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 114, núm. 1, pp. 77–83, ene. 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.055.
- [87] M. Claessens, S. D. Meester, L. V. Landuyt, K. D. Clerck, y C. R. Janssen, “Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, núm. 10, pp. 2199–2204, oct. 2011, doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.06.030.
- [88] A. Frank Comas, “Desechos plásticos ingeridos por elasmobranchios del Mediterráneo occidental”, ene. 2016, Consultado: feb. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/1727>.
- [89] J. G. Lino Domínguez, “Microplástico en el tracto digestivo de *Scomber japonicus*, *Opisthonema libertate* y *Auxis thazard*, comercializados en el puerto pesquero de Santa Rosa, provincia de Santa Elena-Ecuador.”, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, 2019.
- [90] J. Gavilán Santos, Y. Ortiz Correa, K. Aranda Baca, y S. Flores Gómez, “Microplásticos en contenido estomacal de la ‘lisa’ *Mugil cephalus*, Lima-Perú”, *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, vol. 5, núm. 2, p. 8, 2019.



- [91] L. Ossa y V. Murillo, “informe proyecto piloto evaluación del grado de ingestión de microplásticos en el recurso Anchoqueta (*Engraulis Ringens*) frente a las costas de la iv región de Coquimbo, durante el invierno de 2016.”, *ResearchGate*, p. 14, 2016, doi: 10.13140/RG.2.2.16777.29287.
- [92] X. Wen *et al.*, “Microplastic pollution in surface sediments of urban water areas in Changsha, China: abundance, composition, surface textures”, *Marine pollution bulletin*, vol. 136, pp. 414–423, 2018.
- [93] R. C. Thompson, “Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions”, en *Marine Anthropogenic Litter*, M. Bergmann, L. Gutow, y M. Klages, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 185–200.
- [94] A. D. Martínez García, “Análisis y caracterización de microplásticos presentes en limpiadores faciales y su impacto sobre el medio ambiente”, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5046/tfm471.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [95] M. A. Browne, T. S. Galloway, y R. C. Thompson, “Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, núm. 9, pp. 3404–3409, may 2010, doi: 10.1021/es903784e.
- [96] S. Olmos Espinar, “La influencia de las depuradoras en la descarga de microplásticos y aditivos plásticos a las aguas superficiales”, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8376/tfm-olm-inf.pdf?sequence=1>.
- [97] A. B. Silva, A. S. Bastos, C. I. L. Justino, J. P. da Costa, A. C. Duarte, y T. A. P. Rocha-Santos, “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review”, *Analytica Chimica Acta*, vol. 1017, pp. 1–19, ago. 2018, doi: 10.1016/j.aca.2018.02.043.
- [98] B. S. Koch y M. M. Barber, “Basuras marinas; impacto, actualidad y las acciones para mitigar sus consecuencias”, *Revista de Marina Nº*, vol. 968, pp. 30–39, 2019.
- [99] H. S. Auta, C. U. Emenike, y S. H. Fauziah, “Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions”, *Environment International*, vol. 102, pp. 165–176, may 2017, doi: 10.1016/j.envint.2017.02.013.
- [100] A. L. Lusher, V. Tirelli, I. O’Connor, y R. Officer, “Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples”, *Scientific Reports*, vol. 5, núm. 1, p. 14947, oct. 2015, doi: 10.1038/srep14947.
- [101] R. W. Obbard, S. Sadri, Y. Q. Wong, A. A. Khitun, I. Baker, y R. C. Thompson, “Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice”, *Earth’s Future*, vol. 2, núm. 6, pp. 315–320, 2014, doi: 10.1002/2014EF000240.
- [102] M. A. Meléndez Valencia y P. I. Meléndez Torres, “Influencia de la circulación eólica y marítima en la formación de las islas de basura en el mundo”, *Ciencia y sociedad*, 2013, [En línea]. Disponible en: <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1429>.
- [103] “Islas de plástico – Cambio Climático”. <https://www.cambio-climatico.com/islas-de-plastico> (consultado jul. 06, 2020).
- [104] D. K. A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, y M. Barlaz, “Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 1985–1998, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0205.
- [105] “Microplásticos: su impacto en la degradación del medio ambiente”, *Gestor de Residuos en Madrid - RECECO*, may 10, 2020. <https://gestorderesiduosmadrid.es/microplasticos-impacto-la-degradacion-del-medio-ambiente/> (consultado jun. 15, 2020).

- [106] G. E. De la Torre, “Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar”, *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, vol. 15, núm. 4, pp. 27–37, dic. 2019.
- [107] P. G. Ryan, C. J. Moore, J. A. van Franeker, y C. L. Moloney, “Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 1999–2012, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0207.
- [108] H. K. Imhof, N. P. Ivleva, J. Schmid, R. Niessner, y C. Laforsch, “Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles”, *Current Biology*, vol. 23, núm. 19, pp. R867–R868, oct. 2013, doi: 10.1016/j.cub.2013.09.001.
- [109] E. Barraza, “Medición de la cantidad de residuos plásticos pequeños en algunas playas de El Salvador”, *Realidad y Reflexión*, pp. 45–54, jul. 2017, doi: 10.5377/ryr.v0i45.4421.
- [110] C. Villanova Solano, F. Romero Peral, S. Fernández Martín, M. Muñoz Molina, y S. Álvaro Berlanga, “Estudio de la abundancia de microplásticos en doce playas de la isla de Tenerife (Islas Canarias)”, *Revista Scientia Insularum*, 2019, doi: <http://doi.org/10.25145/j.SI.2018.01.007>.
- [111] D. A. García Ojeda, “Determinación de microplásticos en la zona conurbada de la Bahía de Chetumal.”, Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, 2016.
- [112] D. A. Ríos Vela, “Caracterización de los microplásticos e identificación de su origen, en el balneario Costa Azul, Ventanilla – Callao 2017”, Universidad de César Vallejo, Lima-Perú, 2017.
- [113] I. C. Acosta Coley, “Caracterización de microplásticos primarios en el ambiente marino de una playa urbana en Cartagena de Indias”, PhD Thesis, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, 2014.
- [114] A. Lusher, “Microplastics in the marine environment: distribution, interactions and effects”, en *Marine anthropogenic litter*, Springer, Cham, 2015, pp. 245–307.
- [115] K. L. Law y R. C. Thompson, “Microplastics in the seas”, *Science*, vol. 345, núm. 6193, pp. 144–145, jul. 2014, doi: 10.1126/science.1254065.
- [116] A. Ballent, A. Purser, P. de Jesus Mendes, S. Pando, y L. Thomsen, “Physical transport properties of marine microplastic pollution.”, *Biogeosciences Discussions*, vol. 9, núm. 12, 2012.
- [117] M. Wagner *et al.*, “Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know”, *Environmental Sciences Europe*, vol. 26, núm. 1, p. 12, jul. 2014, doi: 10.1186/s12302-014-0012-7.
- [118] N. W. Heo *et al.*, “Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on Heungnam beach, South Korea”, *Ocean Sci. J.*, vol. 48, núm. 2, pp. 225–233, jun. 2013, doi: 10.1007/s12601-013-0019-9.
- [119] E. Editorial, “Es el Pacífico mexicano un mar de microplásticos”, *MPV: opinión, ciudadanos, PRI, PAN, PRD*, ene. 29, 2020. <http://www.mipuntodevista.com.mx/es-el-pacifico-mexicano-un-mar-de-microplasticos/> (consultado jun. 20, 2020).
- [120] A. Lechner *et al.*, “The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbered fish larvae in Europe’s second largest river”, *Environmental Pollution*, vol. 188, pp. 177–181, may 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2014.02.006.
- [121] B. T. Pujol Soliano, “Abundancia y distribución de microplásticos y posibles impactos sobre el rorcuál común (*Balaenoptera physalus*) en las costas del Garraf”, Universitat Central de Catalunya, 2016.
- [122] M. Eriksen *et al.*, “Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 77, núm. 1, pp. 177–182, dic. 2013, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.007.

- [123] J. A. Ivar do Sul, M. F. Costa, y G. Fillmann, “Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands of the Western Tropical Atlantic Ocean”, *Water Air Soil Pollut*, vol. 225, núm. 7, p. 2004, jun. 2014, doi: 10.1007/s11270-014-2004-z.
- [124] J. C. Vermaire, C. Pomeroy, S. M. Herczegh, O. Haggart, y M. Murphy, “Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries”, *Facets*, vol. 2, núm. 1, pp. 301–314, 2017.
- [125] J. M. Donoso Lemos, “Cuantificación de la presencia de microplásticos en la cuenca alta del río Guayllabamba”, bachelorThesis, Universidad de las Américas, Quito., 2018.
- [126] R. Dris *et al.*, “A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments”, *Environmental Pollution*, vol. 221, pp. 453–458, feb. 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2016.12.013.
- [127] R. Dris, J. Gasperi, M. Saad, C. Mirande, y B. Tassin, “Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 104, núm. 1, pp. 290–293, mar. 2016, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.006.
- [128] G. A. Wetherbee, A. K. Baldwin, y J. F. Ranville, “It is raining plastic”, US Geological Survey, Colorado, United States, 2019–1048, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20191048?fbclid=IwAR2e5a0aWfSnoYIT195hF9W-KEyWRaJY90P972igbL5OgeU5ot5TiEA1yxs>.
- [129] O. Delgado Fimia, “Implicaciones de la exposición a microplásticos en salud humana. Revisión bibliográfica”, jul. 2019, Consultado: jun. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/56407>.
- [130] M. Cole *et al.*, “Microplastic Ingestion by Zooplankton”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, núm. 12, pp. 6646–6655, jun. 2013, doi: 10.1021/es400663f.
- [131] P. G. Ryan, “The marine plastic debris problem off southern Africa: types of debris, their environmental effects, and control measures”, 1990, [En línea]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/d5a8/91708d0af8d914d1df36319356bba9c505bf.pdf>.
- [132] “Peligro extremo para aves marinas por plástico • Teorema Ambiental”, *Teorema Ambiental*, sep. 17, 2015. [http://www.teorema.com.mx/contaminacion\\_/peligro-extremo-para-aves-marinas-por-plastico/](http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/peligro-extremo-para-aves-marinas-por-plastico/) (consultado jun. 23, 2020).
- [133] M. Codina-García, T. Militão, J. Moreno, y J. González-Solís, “Plastic debris in Mediterranean seabirds”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 77, núm. 1, pp. 220–226, dic. 2013, doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.002.
- [134] S. Kühn, E. L. B. Rebolledo, y J. A. van Franeker, “Deleterious effects of litter on marine life”, en *Marine anthropogenic litter*, Springer, Cham, 2015, pp. 75–116.
- [135] M. S. Savoca, M. E. Wohlfeil, S. E. Ebeler, y G. A. Nevitt, “Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds”, *Science Advances*, vol. 2, núm. 11, p. e1600395, nov. 2016, doi: 10.1126/sciadv.1600395.
- [136] N. C. Ory, P. Sobral, J. L. Ferreira, y M. Thiel, “Amberstripe scad *Decapterus muroadsi* (Carangidae) fish ingest blue microplastics resembling their copepod prey along the coast of Rapa Nui (Easter Island) in the South Pacific subtropical gyre”, *Science of The Total Environment*, vol. 586, pp. 430–437, may 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.175.
- [137] O. M. Lönnstedt y P. Eklöv, “Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology”, *Science*, vol. 352, núm. 6290, pp. 1213–1216, jun. 2016, doi: 10.1126/science.aad8828.
- [138] “Los peces se hacen mortalmente adictos a comer plásticos”, *La Vanguardia*, jun. 03, 2016. <https://www.lavanguardia.com/natural/20160603/402261683033/microplasticos-contaminacion-efectos-peces.html> (consultado jun. 13, 2020).

- [139] M. A. Browne, A. Dissanayake, T. S. Galloway, D. M. Lowe, y R. C. Thompson, “Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.)”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, núm. 13, pp. 5026–5031, jul. 2008, doi: 10.1021/es800249a.
- [140] Y. Lu *et al.*, “Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, núm. 7, pp. 4054–4060, abr. 2016, doi: 10.1021/acs.est.6b00183.
- [141] A. L. Lusher, M. McHugh, y R. C. Thompson, “Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 67, núm. 1, pp. 94–99, feb. 2013, doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028.
- [142] A. L. Lusher, G. Hernandez-Milian, J. O’Brien, S. Berrow, I. O’Connor, y R. Officer, “Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True’s beaked whale *Mesoplodon mirus*”, *Environmental Pollution*, vol. 199, pp. 185–191, abr. 2015, doi: 10.1016/j.envpol.2015.01.023.
- [143] E. M. Foekema, C. De Gruijter, M. T. Mergia, J. A. van Franeker, A. J. Murk, y A. A. Koelmans, “Plastic in North Sea Fish”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, núm. 15, pp. 8818–8824, ago. 2013, doi: 10.1021/es400931b.
- [144] K. Tanaka y H. Takada, “Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters”, *Scientific Reports*, vol. 6, núm. 1, p. 34351, sep. 2016, doi: 10.1038/srep34351.
- [145] T. Romeo, B. Pietro, C. Pedà, P. Consoli, F. Andaloro, y M. C. Fossi, “First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 95, núm. 1, pp. 358–361, jun. 2015, doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.04.048.
- [146] E. W. E. Condor, Y. I. Villasante, A. M. Riva, G. R. Panduro, y A. H. Cruz, “Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces”, *Revista Kawsaypacha: sociedad y medio ambiente*, núm. 4, pp. 79–92, 2019.
- [147] R. C. Thompson, C. J. Moore, F. S. vom Saal, y S. H. Swan, “Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, núm. 1526, pp. 2153–2166, jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2009.0053.
- [148] C. M. Rochman, “The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment”, en *Marine anthropogenic litter*, Springer, Cham, 2015, pp. 117–140.
- [149] L. N. Vandenberg, R. Hauser, M. Marcus, N. Olea, y W. V. Welshons, “Human exposure to bisphenol A (BPA)”, *Reproductive Toxicology*, vol. 24, núm. 2, pp. 139–177, ago. 2007, doi: 10.1016/j.reprotox.2007.07.010.
- [150] R. E. Engler, “The Complex Interaction between Marine Debris and Toxic Chemicals in the Ocean”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, núm. 22, pp. 12302–12315, nov. 2012, doi: 10.1021/es3027105.
- [151] S. Endo *et al.*, “Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50, núm. 10, pp. 1103–1114, oct. 2005, doi: 10.1016/j.marpolbul.2005.04.030.
- [152] Y. Mato, T. Isobe, H. Takada, H. Kanehiro, C. Ohtake, y T. Kaminuma, “Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 35, núm. 2, pp. 318–324, ene. 2001, doi: 10.1021/es0010498.

- [153] A. Bakir, S. J. Rowland, y R. C. Thompson, “Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions”, *Environmental Pollution*, vol. 185, pp. 16–23, feb. 2014, doi: 10.1016/j.envpol.2013.10.007.
- [154] A. Bakir, S. J. Rowland, y R. C. Thompson, “Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 64, núm. 12, pp. 2782–2789, dic. 2012, doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.09.010.
- [155] K. Ashton, L. Holmes, y A. Turner, “Association of metals with plastic production pellets in the marine environment”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 60, núm. 11, pp. 2050–2055, nov. 2010, doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.014.
- [156] M. Smith, D. C. Love, C. M. Rochman, y R. A. Neff, “Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health”, *Curr Envir Health Rpt*, vol. 5, núm. 3, pp. 375–386, sep. 2018, doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.
- [157] T. S. Galloway, “Micro-and nano-plastics and human health”, en *Marine anthropogenic litter*, Springer, Cham, 2015, pp. 343–366.
- [158] D. Yang, H. Shi, L. Li, J. Li, K. Jabeen, y P. Kolandhasamy, “Microplastic Pollution in Table Salts from China”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, núm. 22, pp. 13622–13627, nov. 2015, doi: 10.1021/acs.est.5b03163.
- [159] S. L. Wright y F. J. Kelly, “Plastic and Human Health: A Micro Issue?”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, núm. 12, pp. 6634–6647, jun. 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b00423.
- [160] A. Ragusa *et al.*, “Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta”, *Environment International*, vol. 146, p. 106274, ene. 2021, doi: 10.1016/j.envint.2020.106274.
- [161] “Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso”, *Noticias ONU*, mar. 15, 2019. <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961> (consultado jul. 02, 2020).
- [162] “Conoce las medidas que se están tomando para disminuir la contaminación por unicel y plástico en México”. <https://www.aseca.com/blog/conoce-las-medidas-que-se-estan-tomando-para-disminuir-la-contaminacion-por-unicel-y-plastico-en-mex> (consultado jul. 02, 2020).
- [163] “Iniciativa que reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos”, *Senado de la República. LXIV Legislatura*, 2019. [https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10-1/assets/documentos/Inic\\_MORENA\\_residuos.pdf](https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10-1/assets/documentos/Inic_MORENA_residuos.pdf) (consultado jul. 02, 2020).
- [164] D. Márquez Santibáñez, “Identificación del recurso genético en poblaciones de tilapia, mediante el análisis de la Región Control del ADNmt en Baja California Sur”, Para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, 2018.
- [165] M. A. Saavedra Martínez, “Manejo Del cultivo de tilapia”, *Nicaragua, BIDEAUSAID*, p. 24, 2006.
- [166] “Asta natural”, *RitualSound*. <https://www.ritualsound.com/inicio/77-asta-natural.html> (consultado nov. 16, 2020).
- [167] “Introducción a los polímeros”, *Wikiversidad*. [https://es.wikiversity.org/wiki/Introducci%C3%B3n\\_a\\_los\\_pol%C3%ADmeros](https://es.wikiversity.org/wiki/Introducci%C3%B3n_a_los_pol%C3%ADmeros) (consultado nov. 16, 2020).
- [168] “Espín”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. ago. 27, 2020, Consultado: nov. 16, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Esp%C3%ADn&oldid=128786536>.

- [169] “Polímero”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. nov. 13, 2020, Consultado: nov. 17, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pol%C3%ADmero&oldid=130894386>.
- [170] “Estabilizadores de polímeros”. [https://es.qaz.wiki/wiki/Polymer\\_stabilizers](https://es.qaz.wiki/wiki/Polymer_stabilizers) (consultado nov. 17, 2020).
- [171] “Tipos de catalizadores (artículo) | Cinética”, *Khan Academy*. <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/kinetics-ap/arrhenius-equation-mechanisms-ap/a/types-of-catalysts> (consultado nov. 17, 2020).
- [172] “Enzima”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. nov. 12, 2020, Consultado: nov. 17, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Enzima&oldid=130863511>.
- [173] “Polimerización”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. oct. 13, 2020, Consultado: nov. 17, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Polimerizaci%C3%B3n&oldid=130043220>.
- [174] “Plastificante”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. ago. 31, 2019, Consultado: nov. 17, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Plastificante&oldid=118766091>.
- [175] M. Seba, “Estado de salud de las poblaciones de peces del lago Catemaco, Veracruz”, PhD Thesis, UNIVERSIDAD VERACRUZANA, Acayuan, Veracruz, 2009.
- [176] DIGAOHM, “Catemaco, veracruz - digaohm”, *digaohm - semar.gob.mx*. <https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioCatemaco.pdf> (consultado ene. 08, 2021).
- [177] A. Pérez-Rojas y R. Torres-Orozco, “Geomorfología y batimetría del lago de Catemaco, Veracruz, México”, en *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 1992, vol. 19, pp. 19–24, [En línea]. Disponible en: <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1992-1/articulo400.html>.
- [178] INEGI, “Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos”. [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/30/30032.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30032.pdf) (consultado ene. 09, 2021).
- [179] W. Wang y J. Wang, “Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 108, pp. 195–202, 2018.
- [180] N. Felis Reig, “Microplásticos en el sector sur del Golfo de Valencia”, 2018, Consultado: feb. 04, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116032>.