



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL

TESIS

**Caracterización físico-química de
microplásticos y análisis granulométrico de
sedimentos en playa Guadalupe, Veracruz,
Golfo de México**

**Para obtener el grado de
Licenciada en Ingeniería en Geología Ambiental**

PRESENTA

Adnil Nilesuhy Hernández Haro

Director interno

Dr. Enrique Cruz Chávez

Director externo

Dr. John Selvamony Armstrong Altrin Sam

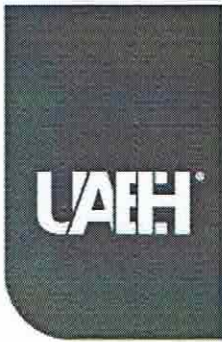
ICML, UNAM

Comité tutorial

Presidente: Dra. Ingrid Arcega Santillán

Suplente: M. en C. Nadia Lizbeth Vite Hernández

Mineral de la Reforma, Hgo., a 26 de junio de 2024



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 26 de junio de 2024

Número de control: ICBI-D/885/2024

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado a la Egresada de la Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental **Adnil Nilesuhy Hernández Haro**, quien presenta el trabajo de titulación "**Caracterización fisicoquímica de microplásticos y análisis granulométrico de sedimentos en playa Guadalupe, Veracruz, Golfo de México**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dra. Ingrid Arcega Santillán

Secretario: Dr. John Selvamony Armstrong Altrin Sam

Vocal: Dr. Enrique Cruz Chávez

Suplente: M. en C. Nadia Lizbeth Vite Hernández

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx,
acevedo@uaeh.edu.mx



Dedicatoria

Para mi KatyRot.

¡Nunca dejes de aprender, re-inventa!

- Agradecimientos institucionales
 - Agradezco la asistencia financiera proporcionada al Dr. John S. Armstrong Altrin S. del proyecto DGAPA-PAPIIT, número: IN104824 por el cual fue posible la recolección de muestras y el análisis de microplásticos
 - Agradezco la asistencia financiera proporcionada al Dr. John S. Armstrong Altrin S. del proyecto CONACyT Ciencia Básica, número: A1-S-21287 por el apoyo para los análisis de mineralogía de las muestras de sedimentos del Golfo de México.
 - Agradezco al proyecto institucional del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología (ICML) n° 616, por las facilidades de transporte para la recolección de muestras en las playas del Golfo de México.
 - Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, lugar donde se consolidó mi trabajo de tesis.
 - Agradezco al M. en C. Eduardo Alfredo Morales de la Garza, Ricardo Martínez Domínguez y Arturo Ronquillo Arvizu del ICML de la UNAM por la ayuda en la preparación de muestras para los análisis.
 - A la M.C. Laura Elena Gómez Lizárraga del ICML, por el servicio de microscopía electrónica de barrido SEM.
 - Mi compañera de laboratorio Dra. Mayla A. Ramos-Vázquez por sus comentarios y mejoras en este trabajo, así como su compañía durante mi trabajo de tesis.
 - A la Dra Selene, técnico del ICAT UNAM por la utilización del FTIR.

- Agradecimientos Personales

Pensé en lo mucho que me faltaba para escribir esto, hoy, me encuentro aquí.

¡Gracias Dios!

- A quién desde el cielo me cuida y me protege. Gracias abue Blanca, te extraño.
- Linda Haro, porque aun teniendo miedo de soltarme, o quizás no, me has dejado seguir mi propio camino, por enseñarme a no rendirme, a aspirar a más y a conseguirlo, a perseverar y sobre todo hacer las cosas con amor. Todo lo que soy es por ti. ¡Te amo ma!
- Yhu: por los acertados consejos y las infinitas platicas de motivación siempre en los mejores momentos. Porque si no fuera por la plática previa a quedarme en el carro sin despedirme mientras veías cortinas con Vince y Male, esta historia fuera diferente. Gracias chiquita, te amo.
- Katy Rotsen, cuando pensé a quién dedicarle este pequeño pero significativo logro estabas tú en mi mente. Una vez que encuentres tu camino, no lo dejes ir. Te amo mi vida.
- Chepe, Cyn, Alma y Jorge: A pesar que andaba lejos siempre hacían que no lo pareciera, gracias por las aventuras, las noches en “la casa” y por enseñarme el significado de amistad.
- Raúl Ventura: a pesar de que no me viste iniciar esta aventura, me viste continuar escribiéndola, y concluirla, gracias por la motivación, por aclarar mis ideas y por estar a mi lado. ¡Más aventuras nos aguardan, te amo Rulo!
- Otsa: Gracias por estar al pendiente de mi en cada pasito, eres mi ejemplo de éxito y perseverancia.
- Madrina Wen, Padrino Nestor y Kylian: comparto con ustedes este logro porque me han llevado a perseguir cada uno de estos.
- Es imposible no sentirme agradecida por sus infinitos consejos, motivaciones y el apoyo que me brindaron en todo este tiempo, gracias familia: Madrina Marina y Padrino Isidro, Tío Erick, Tía Zule, Tía Ade, Tía Paty, Padrino Salo y Keyn, Aira, Perla y Rubí, Katherine, y Pris; muchas gracias Sara.

- A las personas que conocí durante esta etapa, con quienes compartí muchísimas risas y grandes momentos: Xoch, Tere, Erik, Alejandro, Ricardo, Fer, Dany, Lau, Marla, Lili, Farini.
- A Fany, mi familia mientras estuve en CdMx, gracias por las noches de risa y de diversión, por la motivación constante, los consejitos y el cafecito.
- A la Dra Mayla, por hacer más ameno las horas del laboratorio y los detallitos, en especial por los chocolates; pero, sobre todo, ¡por enseñarme hacer ciencia! Gracias Dra.
- Dr. Enrique. Gracias por confiar en mí, aunque no me conocía, por arriesgársela conmigo, por los jalones de oreja necesarios, los regaños que en realidad eran motivaciones. Sus comentarios y sugerencias han enriquecido significativamente mi trabajo, ayudándome a mejorar tanto en el contenido como en la presentación de mi tesis.
- Dr. John S. Armstrong Altrin S. gracias por permitirme realizar investigación con usted, la confianza que depositó en mí al otorgarme esta oportunidad y por sus enseñanzas.
- Dra. Ingrid, gracias por su tiempo, sus comentarios para mejoría de este trabajo y sus consejos fueron fundamentales a lo largo de este proyecto.
- Maestra Nadia, gracias por dedicar su tiempo y conocimiento en la mejoría y culminación de este trabajo, sus comentarios enriquecieron este trabajo.
- A ti, que estas leyendo esto, espero que encuentres más de lo que buscas, gracias por leerme.

Resumen

La caracterización de los microplásticos contribuye en la investigación de los efectos que causa la ingesta de estas partículas por organismos marinos y terrestres, lo que plantea preocupaciones sobre sus efectos en la salud de los ecosistemas y potencialmente en la salud humana si entran en la cadena alimentaria. La identificación de los microplásticos (MPs) favorece en la clasificación en cuanto a su forma y color, sin embargo, el análisis de la morfología y composición permite establecer los alcances de impacto, en específico en el ambiente costero que fueron analizados. Las técnicas empleadas incluyen la microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis de infrarrojo por transformada de fourier (FTIR) y microscopía electrónica de barrido con analizador de energías dispersivas (SEM-EDS). Se identificaron MPs con texturas degradadas, de composiciones como poliestireno, presentando partículas de aditivos adheridas en su superficie. Finalmente, se determinó la granulometría de las arenas obteniendo en su mayoría arenas finas bien clasificadas, relacionando las características de los sedimentos con la presencia de fibras de microplásticos. Investigar la presencia, distribución y análisis fisicoquímico de MPs permite evaluar la magnitud del problema de la contaminación por plásticos y a desarrollar estrategias efectivas de mitigación.

Abstract

The characterization of microplastics contributes to the investigation of the effects caused by the ingestion of these particles by marine and terrestrial organisms, which raises concerns about their effects on the health of ecosystems and potentially on human health if they enter the food chain. The identification of microplastics (MPs) favors the classification in terms of their shape and color, however, the analysis of the morphology and composition allows to establish the scopes of impact, specifically in the coastal environment that were analyzed. The techniques used include the Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Analysis (FTIR), and Scanning

Electron Microscopy with Energy Dispersive (SEM-EDS). MPs with degraded textures, of compositions such as polystyrene, were identified, presenting additive particles adhered to their surface. Finally, the granulometry of the sands was determined, obtaining mostly well-classified fine sands, relating the characteristics of the sediments to the presence of microplastic fibers. Investigating the presence, distribution and physicochemical analysis of MPs allows to evaluate the magnitude of the problem of plastic contamination and to develop effective mitigation strategies.

Tabla de contenido

Capítulo 1 GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Sedimentos.....	8
2.2 Microplásticos	9
Capítulo 3 MARCO GEOLÓGICO	16
3.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio	16
3.2 Geología del Golfo de México.....	17
3.3 Geología regional del área de estudio	18
3.4 Características oceanográficas del área de estudio.	20
3.5 Importancia de la zona de estudio	21
3.6 Características de la playa.....	22
Capítulo 4 METODOLOGÍA	24
4.1 Técnicas utilizadas	24
4.2 Técnicas analíticas	29
Capítulo 5 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	40
5.1 Trabajo en campo	40
5.2 Trabajo de laboratorio.....	40
Capítulo 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
6.1 Análisis Granulométrico	49
6.2 Cuantificación y clasificación de los microplásticos	51
6.3 Predominancia del tipo de microplástico y su posible relación con los parámetros texturales.....	61
6.4 Microscopía Electrónica de Barrido (Scanning Electron Microscope SEM) 63	
6.5 Espectroscopía infrarroja por transformada de fourier (FT-IR).	74
6.6 Espectroscopia de Energía Dispersiva (SEM-EDS).....	79

Capítulo 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 89
Capítulo 8 BIBLIOGRAFÍA..... 91

Lista de Figuras

FIGURA 1 ESCALA AMPLIADA DE TAMAÑO DE GRANO DE UDDEN-WENTWORTH PARA PARTÍCULAS SEDIMENTARIAS. MODIFICADO DE (MURCIA ET AL., 2013).....	9
FIGURA 2 PROPORCIÓN DE VARIOS METALES PESADOS ABSORBIDOS EN MICROPLÁSTICOS EN DIFERENTES AMBIENTES A) AGUA DULCE (N=7), B) MARINO (N=6) Y C) TERRESTRE (N=3). MODIFICADO DE (KHALID ET AL., 2021).....	12
FIGURA 3. ASOCIACIÓN DE METALES PESADOS A VARIOS TIPOS DE MPS POLÍMEROS EN EL AMBIENTE ACUÁTICO. MODIFICADO DE (KHALID ET AL., 2021)	13
FIGURA 4 MAPA DE LA UBICACIÓN Y LITOLOGÍA DE LA REGIÓN CIRCUNDANTE AL ÁREA DE ESTUDIO.	19
FIGURA 5 MAPA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL MAR CARIBE CON ESQUEMAS QUE MUESTRAN LAS CORRIENTES LAZO (LOOP CURRENT), LA CIRCULACIÓN ANTICICLÓNICA (EDDY). (OEY ET AL., 2006). 21	
FIGURA 6 MÉTODO DE SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DE SEDIMENTOS MODIFICADO DE (NABI ET AL., 2022).....	24
FIGURA 7 ESQUEMA DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO. (FLENGER ET AL., 1993)	31
FIGURA 8 ESPECTROS FTIR DE POLÍMEROS COMUNES DE REFERENCIA PARA ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS. EL QUITOSANO SE INCLUYE COMO REPRESENTANTE NATURAL DE BIOPOLÍMEROS. (RENNER ET AL.,2017)	33
FIGURA 9 AGITACIÓN MAGNÉTICA DE LAS MUESTRAS.....	43
FIGURA 10 MUESTRAS G1A, G1B, G1C, G11A, G11B, G11C, G19A, G19B, G19C, G3B, G5B, G7B, G9B, G13B, G15B Y G17B DE PAPEL FILTRO CON MPS EXTRAÍDOS MEDIANTE DENSIDAD Y FILTRACIÓN	43
FIGURA 11 MICROSCOPIO VELAB VE-S4	44
FIGURA 12 FILTROS CON MICROPLÁSTICOS VISTAS DESDE EL MICROSCOPIO. A) G3B B) G5B C) G19B Y D) G13B.	44
FIGURA 13 MICROPLÁSTICOS MONTADOS EN PORTA MUESTRAS PARA ANÁLISIS SEM. A) PORTA MUESTRA CON MPS DE LA MUESTRA G3B. B) PORTA MUESTRA CON MPS DE LAS MUESTRAS G3B, G7B, G9B Y G15B. C) PORTA MUESTRA CON MPS DE LAS MUESTRAS G11B, G11C, G19B Y G19A.....	45
FIGURA 14 SERVICIO ACADÉMICO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO, INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM.	45
FIGURA 15 A) ESPECTRÓMETRO NICOLET ISSOR B) COMPUTADORA QUE OPERA EN CONJUNTO EL ESPECTRÓMETRO DE ANÁLISIS IR Y EL PORTA OBJETOS QUE CONTIENE CUBOS DE PAPEL CON MICROPLÁSTICOS A ANALIZAR.....	46
FIGURA 16 EQUIPO DE SEM-EDS A) VISTA ACERCADA DEL FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE B) VISTA PANORÁMICA DE EQUIPO.	47
FIGURA 17 MUESTRAS CON MICROPLÁSTICOS SOBRE UNA HOJA DE PAPEL AL MOMENTO DE SER RECUBIERTAS POR GRAFITO, LABORATORIO UNIVERSITARIO DE PETROLOGÍA (LUP) UNAM	48
FIGURA 18. ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS TOTALES EN CADA MUESTRA	52
FIGURA 19 FRAGMENTOS DE MICROPLÁSTICO TOTALES EN CADA MUESTRA	52
FIGURA 20. FIBRAS DE MICROPLÁSTICO EN CADA MUESTRA	53
FIGURA 21. COMPARACIÓN DE LOS TIPOS Y CANTIDADES DE FIBRAS DE MICROPLÁSTICO CON FRAGMENTOS	53
FIGURA 22. MICROSCOPIO ESTEREOGRÁFICO MARCA ZEISS DISCOVERY. V12 CL1500ECO. LABORATORIO DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA.	55
FIGURA 23. FIBRA DE MICROPLÁSTICO CON COLORACIÓN VERDOSA DE LA MUESTRA G19C.	56
FIGURA 24. FIBRA DE MICROPLÁSTICO ALARGADA COLOR VERDE DE LA MUESTRA G11A.	56
FIGURA 25. FIBRA DE MICROPLÁSTICO TONALIDAD ROSADA CORRESPONDIENTE A LA MUESTRA G19C. ..	57
FIGURA 26. FIBRA DE MICROPLÁSTICO TONALIDAD BLANCA DE LA MUESTRA G19B.	57

FIGURA 27. FIBRA TRANSPARENTE DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19 A MOSTRANDO UN HÁBITO TORTUOSO.....	58
FIGURA 28. FIBRA DE MICROPLÁSTICO CON MULTICOLOR EN LA MUESTRA G1C.....	58
FIGURA 29. FRAGMENTO DE FIBRA DE MICROPLÁSTICO CON COLORACIONES ROJIZAS CORRESPONDIENTES A LA MUESTRA G19B.....	59
FIGURA 30 PROYECCIÓN DE LAS VARIABLES SOBRE EL PLANO PRINCIPAL DE LOS PARÁMETROS TEXTURALES Y EL TIPO DE MICROPLÁSTICO.....	62
FIGURA 31. MICROGRAFÍAS SEM A-C) DE UN FRAGMENTO DE FORMA Y TAMAÑO IRREGULAR DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G3B, MOSTRANDO EN SU SUPERFICIE UNA TEXTURA NO UNIFORME, AGRIETADA Y CON FRACTURAS PROFUNDAS QUE HA SIDO EXPUESTA A PROCESOS COMO DEGRADACIÓN.....	64
FIGURA 32. MICROGRAFÍA SEM A) DE UNA FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G3B MOSTRÁNDOSE TORTUOSA, E IRREGULAR. B) SUPERFICIE DEL MP CON FRACTURAS DEGRADADAS Y ADHERENCIAS C) FIBRA QUE EVIDENCIA METEORIZACIÓN OXIDATIVA POR LOS AGUJEROS Y FRACTURAS.....	64
FIGURA 33. MICROGRAFÍA SEM A) DE UNA FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G3B3 DE MAYOR TAMAÑO, NO SE PRESENTA CON FRACTURAS EN EL CUERPO DE LA PARTÍCULA. B) SUPERFICIE DEL MP CON DEGRADACIÓN EN SU TEXTURA C) PUNTA DE LA FIBRA DAÑADA OBSERVÁNDOSE CON FRACTURA DEBIDO A LA DEGRADACIÓN Y AL IMPACTO DE COLISIÓN.....	65
FIGURA 34. MICROGRAFÍA SEM DE A) UNA FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G3B4. B) FIBRA ESCAMOSA CON DEGRADACIÓN, GRIETAS Y FRACTURAS PROFUNDAS B) AGUJEROS PROFUNDOS EN LA SUPERFICIE DEL MP CAUSADOS POR DISOLUCIONES MÁS GRIETAS D) FRACTURAS Y GRIETAS EN LA SUPERFICIE DEL MP, NO SE PRESENTA UNA TEXTURA UNIFORME EVIDENCIA DE METEORIZACIÓN OXIDATIVA.....	65
FIGURA 35. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MICROPLÁSTICO MUESTRA G3B5 CON FRACTURAS, B) DESHILADA DESDE LA PARTE MEDIA DEL CUERPO DE LA PARTÍCULA QUE EVIDENCIA DEGRADACIÓN Y METEORIZACIÓN OXIDATIVA MÁS DESGASTE.....	66
FIGURA 36. MICROGRAFÍA SEM A) FRAGMENTO DE MICROPLÁSTICO MUESTRA G3B6 QUE PRESENTA TEXTURA SUPERFICIAL CON DESGASTE B) MICROPLÁSTICO PRESENTANDO UN HÁBITO TORTUOSO CON TEXTURA NO UNIFORME.....	66
FIGURA 37. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MICROPLÁSTICO G7B DE TAMAÑO CONSIDERABLE DONDE SE PUEDE APRECIAR QUE NO PRESENTA UNA TEXTURA UNIFORME B) PARTÍCULAS AÑADIDAS AL MP EN EL VÉRTICE DONDE SE OBSERVAN FRACTURAS.....	67
FIGURA 38. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MP MUESTRA G9B1 QUE EVIDENCIA DESGASTE EN SU SUPERFICIE, B) PORCIÓN DE MP DONDE SE VE UN HÁBITO TORTUOSO C) AGUJEROS CAUSADOS POR SOLUCIONES, DEGRADACIÓN Y DAÑO DEBIDO AL IMPACTO Y A LA DEGRADACIÓN.....	67
FIGURA 39. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MPS QUE HA SUFRIDO DESGASTE EVIDENCIADA POR EL ROMPIMIENTO DE LA FIBRA EN DOS SECCIONES B) AGUJEROS PROFUNDOS PRESENTES EN EL MP DONDE SE OBSERVA LA TEXTURA NO UNIFORME. C) FIBRA DE MP CON DESPRENDIMIENTO DE LA MISMA TEXTURA.....	68
FIGURA 40. MICROGRAFÍA SEM A) FRAGMENTO DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G15B2 AGRIETADO, CON UN HÁBITO TORTUOSO, SIN UNA DIRECCIÓN LÍNEAL QUE EVIDENCIA DESGASTE B) NÓDULO DE MP CON PLIEGUES.....	68
FIGURA 41. MICROGRAFÍA SEM A) FRAGMENTO DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G15B3 QUE HA SUFRIDO DESGASTE, NO PRESENTA UNA TEXTURA UNIFORME SINO CORRUGADA Y ÁSPERA, SE	

OBSERVA AGRIETADO B) AGUJERO PROFUNDO CAUSADO POR SOLUCIONES Y DESGASTE EN LA SUPERFICIE.....	69
FIGURA 42. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRAS DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19B1 QUE EVIDENCIA DESGASTE DEBIDO A LA UNIÓN DE VARIAS FIBRAS FRAGMENTADAS B) FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19B2 MOSTRANDO UNA TEXTURA NO UNIFORME, CON FRACTURAS EN LOS EXTREMOS PRODUCTO DE METEORIZACIÓN OXIDATIVA Y DESGASTE.	69
FIGURA 43. MICROGRAFÍA SEM DE UN A) UNA FIBRA DE MICROPLÁSTICO MUESTRA G19A1 DE TAMAÑO CONSIDERABLE, NO SE PRESENTA AGRIETADA B) PARTÍCULAS AÑADIDAS AL MP DONDE SE PRESENTA UNA TEXTURA UNIFORME Y LISA.	69
FIGURA 44. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19A2 CON PARTÍCULAS AÑADIDAS Y DESGASTE LA MUESTRA PRESENTA UNA ONDULACIÓN EN DONDE SE OBSERVAN LA MAYOR CANTIDAD DE PARTÍCULAS AÑADIDAS B) PARTÍCULAS AÑADIDAS AL MP C) VÉRTICE DE LA MUESTRA FRACTURADO CON PARTÍCULAS AÑADIDAS, TEXTURA LIGERAMENTE CORRUGADA.	70
FIGURA 45. MICROGRAFÍA SEM A) UNA FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G11B1 QUE HA SUFRIDO DESGASTE, SE PRESENTA CON UN HÁBITO TORTUOSO DE EXTREMO A FINAL B) TEXTURA SUPERFICIAL FRACTURADA POR IMPACTO EN LA COLISIÓN, TEXTURA SUPERFICIAL DE FIBRA ESCAMOSA, DEGRADADA Y AGRIETADA C) DESGASTE CON UN AGUJERO CAUSADO POR SOLUCIONES, ÁPICE DE LA FIBRA CON FRACTURAS.	70
FIGURA 46. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G11B2 PRESENTANDO DESGASTE, EN EL CUERPO MEDIO DE LA PARTÍCULA SE OBSERVA UN AGRIETAMIENTO LO QUE CAUSA DOS FIBRAS PRODUCTO DE UN ÚNICO EJEMPLAR LAS CUALES PRESENTAN UN HÁBITO TORTUOSO Y PARTÍCULAS AÑADIDAS B) HÁBITO TORTUOSO DE UNA PORCIÓN DE LA FIBRA CON PARTÍCULAS AÑADIDAS, NO PRESENTA UNA TEXTURA SUPERFICIAL LISA C) FRACCIÓN DE MP DONDE SE OBSERVA UNA TEXTURA CORRUGADA CON FRACTURAS.	71
FIGURA 47. MICROGRAFÍA SEM A) DIVERSAS FIBRAS DE MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G11C1 ENTRELAZADAS Y B) FIBRAS DE MP CON TEXTURAS NO UNIFORMES Y PARTÍCULAS AÑADIDAS C) TEXTURA DE UNA PORCIÓN DE MP DEGRADADA NO UNIFORME C) PARTÍCULAS AÑADIDAS DE UNA FIBRA DE MP CON MAYOR TAMAÑO AL RESTO DEL CUERPO DE LA PARTÍCULA.	71
FIGURA 48. MICROGRAFÍA SEM A) FIBRA DE MICROPLÁSTICO CON ROTURA ENTRE DOS FIBRAS EN LA PARTE INFERIOR DE LA PARTÍCULA, CON HÁBITO TORTUOSO Y PARTÍCULAS AÑADIDAS B) VARIAS FIBRAS DE MICROPLÁSTICO ENTRELAZADAS CON HÁBITOS TORTUOSOS, ROTURAS ENTRE LAS PARTÍCULAS Y TEXTURAS NO UNIFORMES.	72
FIGURA 49 ESPECTROS FTIR DE FIBRAS DE MICROPLÁSTICO DE SEDIMENTOS DE LA PLAYA GUADALUPE. A) ESPECTRO DE LA MUESTRA G1 B) ESPECTRO DE LA MUESTRA G2 C) ESPECTRO DE LA MUESTRA G3.	75
FIGURA 50 ESPECTROS FTIR DE FIBRAS DE MICROPLÁSTICO DE SEDIMENTOS DE LA PLAYA GUADALUPE. A) ESPECTRO DE LA MUESTRA G4 B) ESPECTRO DE LA MUESTRA G5.....	76
FIGURA 51 MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G1 ANALIZADO BAJO SEM-EDS	81
FIGURA 52 ESPECTRO 1 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G1 ANALIZADO BAJO SEM-EDS	81
FIGURA 53 ESPECTRO 2 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G1 ANALIZADO BAJO SEM-EDS	82
FIGURA 54 ESPECTRO 3 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G1 ANALIZADO BAJO SEM-EDS	82
FIGURA 55 ESPECTRO 4 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G1 ANALIZADO BAJO SEM-EDS	82
FIGURA 56 ESPECTRO 1 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G11 ANALIZADO BAJO SEM-EDS.....	84
FIGURA 57 ESPECTRO 1 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19 ANALIZADO BAJO SEM-EDS.....	86
FIGURA 58 ESPECTRO 2 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19 ANALIZADO BAJO SEM-EDS.....	86
FIGURA 59 ESPECTRO 3 DEL MICROPLÁSTICO DE LA MUESTRA G19 ANALIZADO BAJO SEM-EDS.....	87

1. Lista de Tablas

TABLA 1 MUESTRAS COLECTADAS Y SUS COORDENADAS _____	16
TABLA 2 ESCALA DE CLASIFICACIÓN DE LAS ARENAS _____	26
TABLA 3 ESCALA PARA SEDIMENTOS DE ACUERDO CON SU GRADO DE CLASIFICACIÓN _____	27
TABLA 4 LÍMITES DE ASIMETRÍA PARA SEDIMENTOS _____	27
TABLA 5 CLASIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE SEDIMENTOS DE ACUERDO CON LA CURTOSIS. _____	28
TABLA 6 RANGOS DE LONGITUD DE ONDA DE ESPECTROFOTOMETRÍA INFRARROJO _____	32
TABLA 7 LA ESTRUCTURA QUÍMICA Y ADSORCIÓN DE LAS BANDAS CORRESPONDIENTE A CADA TIPO DE POLÍMERO. TABLA MODIFICADA DE (JUNG ET AL., 2018) _____	34
TABLA 8 MEDIDAS DE Φ DE LAS MALLAS _____	41
TABLA 9 MUESTRAS ETIQUETADAS EN RELACIÓN CON LOS G DE SEDIMENTOS _____	41
TABLA 10 RELACIÓN DE G DE LAS MUESTRAS CON LOS ML DE SOLUCIÓN EN SEDIMENTOS DE LA PLAYA GUADALUPE _____	42
TABLA 11. PARÁMETROS DE TAMAÑO DE GRANO PARA 20 MUESTRAS DE SEDIMENTO DE PLAYA GUADALUPE. _____	49
TABLA 12. COMPARACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE PLAYA GUADALUPE CON ESTUDIOS REPORTADOS EN OTRAS PARTES DEL MUNDO. _____	60
TABLA 13 FIRMAS ESPECTRALES DE MP DE MUESTRAS G1, G2, G3, G4 Y G5 ANALIZADAS BAJO FT-IR _____	76
TABLA 14 RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO SEMICUANTITATIVO DE ÓXIDOS OBTENIDOS BAJO ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA G1 _____	83
TABLA 15 RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO SEMICUANTITATIVO DE ELEMENTOS OBTENIDOS BAJO ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA G1 _____	83
TABLA 16 ANÁLISIS QUÍMICO SEMICUANTITATIVO DE REPRESENTADO EN ELEMENTOS Y ÓXIDOS DE LA MUESTRA G11 _____	84
TABLA 17 ANÁLISIS QUÍMICO SEMICUANTITATIVO DE ÓXIDOS DE LA MUESTRA G19 _____	87
TABLA 18 RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO SEMICUANTITATIVO DE ELEMENTOS OBTENIDOS BAJO ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA G19 _____	87

Lista de ecuaciones

ECUACIÓN 1	25
ECUACIÓN 2	26
ECUACIÓN 3	26
ECUACIÓN 4	27
ECUACIÓN 5	28

Capítulo 1 GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los microplásticos (MPs) representan una forma de contaminación ambiental generalizada que afecta los ecosistemas terrestres y acuáticos. La contaminación por estas partículas se atribuye a su tamaño en micras, su captura y las dificultades de remover los MPs del ambiente. Comprender la distribución, el transporte y los efectos de estas partículas en el medio ambiente es crucial para mitigar su impacto y proteger la salud de los ecosistemas y la vida silvestre. (Nabi et al., 2022).

De acuerdo con los reportes, cerca de 5-12 millones de toneladas de basura plástica entra al ambiente marino, suelo, aire y a los sedimentos anualmente debido a las actividades antropogénicas (Boyle & Örmeci, 2020). El mundo se enfrenta a un severo problema con respecto a la contaminación de plásticos, debido a que son livianos, de bajo costo, resistentes, durables, están diseñados para ser desechados y tienden a ser quebradizos y fragmentarse en pedazos más pequeños si se exponen a radiación ultravioleta (Moore, 2008).

Las concentraciones de los microplásticos podrían aumentar con la disminución del tamaño de grano de los sedimentos. La granulometría del sedimento podría influir en el depósito de los MPs, ya que se ha observado que determina el contenido y la distribución de sustancias como carbono orgánico total, nitrógeno total y ópalo biogénico (Alomar et al., 2016).

En este trabajo, se ilustra la abundancia y caracterización fisicoquímica de los microplásticos depositados en los sedimentos de playa incluyendo micrografías y análisis composicionales, así mismo se plantea una posible relación entre el depósito de las arenas y el de los microplásticos permitiendo así comprender e indagar en las características fisicoquímicas de estas partículas, brindando latentemente información a fin de crear estrategias de mitigación a futuras investigaciones.

1.2 Antecedentes

Thompson et al., (2004), Cuantificaron la abundancia de los microplásticos en sedimentos del estuario Plymouth, Reino Unido, además de identificar su composición por medio de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier tomaron imágenes utilizando la Espectroscopia Electrónica de Barrido. Obtuvieron como resultado muestras de composición acrílica, de polietileno, propileo, nylon, poliéster, poli estireno, polivinilo-alcohol, alquídico y polimetilacrilato. Por último, concluyeron que es probable que aumente la contaminación por medio de los microplásticos dado el rápido aumento en la producción de plástico, la longevidad y la naturaleza desechable de los artículos plásticos.

Andrady (2011), discute acerca del mecanismo de generación y los impactos de los microplásticos en el ambiente marino. Caracteriza a los plásticos como un material versátil, de bajo peso, fuerte, con distintas aplicaciones y de bajo costo. Clasifica la degradación del plástico de acuerdo con sus condiciones ambientales y concluye que la generación de MPs está relacionada con la meteorización, fracturamiento y fragilización superficial de los plásticos en la playa.

Retama et al., (2016), realizaron el primer estudio que reporta la presencia de microplásticos en playas turísticas ubicadas en la Bahía de Huatulco, México, en dos distintos periodos, abril 2013 y diciembre 2014. Analizaron la morfología de los microplásticos mediante Microscopía Electrónica de Barrido. Concluyeron que los son especialmente derivados de las actividades turísticas y efluentes de los hoteles y restaurantes localizados a lo largo de la playa. Además, en el estudio reporta estrategias para mitigar el problema y reducir el uso de materiales plásticos e implementar métodos de reciclaje.

Wessel et al., (2016), investigaron microplásticos en 84 muestras de arena en costas del estuario de la Bahía Mobile, en el Golfo de México. Utilizaron Espectroscopia transformada de Fourier para la identificación y obtuvieron como resultados que abunda en mayor medida el polietileno y el polipropileno

de los cinco polímeros encontrados que fueron polietileno, polipropileno, poliestireno, nylon, poliéster. Concluyen que los microplásticos son omnipresentes en las costas y mayormente en las expuestas a corrientes y mareas marinas.

Wang et al., (2017), caracterizaron por SEM-EDS (Microscopía Electrónica de Barrido con analizador de energías dispersivas) la morfología de las partículas degradadas de plásticos más grandes encontradas en vísceras de peces alimentados en laboratorio y peces marinos. Utilizaron FTIR (Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier) para conocer su composición. Concluyeron que la microscopía óptica es útil para la detección rápida de posibles microplásticos en función a su morfología.

Piñon-Colin et al., (2018), investigaron la ocurrencia y distribución de los microplásticos en la Península de Baja California, México. Caracterizaron y estudiaron la morfología de los MPs en 21 muestras obtenidas, los separaron mediante densidad y utilizaron FTIR para identificar su composición. Los polímeros encontrados fueron el poliacrílico, poliacrilamida, polietileno, poliéster y nylon y concluyeron que la fibra es el microplástico más abundante en las muestras, que comprenden el 91% del total de los MPs.

Álvarez-Zeferino et al., (2020), cuantificaron y clasificaron los microplásticos que extrajeron mediante flotación en playas mexicanas de sedimentos de lo largo del Pacífico, del Golfo de México y el Golfo de California. Declaran que la presencia de microplásticos fue mayor en las playas urbanas sobre desarrolladas y que aumenta con la ocurrencia de eventos climáticos extremos. Clasificaron los MPs por color, tipo y composición química mediante Espectroscopia transformada de Fourier. Resultado de su investigación indica que en el Golfo de California es la región que mostró mayor concentración de MPs y que coincidía con la recién llegada del huracán Bud (2018). Concluyen que los planes de gestión de residuos podían prevenir la contaminación por residuos sólidos.

Bui et al., (2020), en su artículo proporcionan tecnologías para remover los microplásticos del ambiente y concluyen que para eliminar los MPs es mediante la reducción del consumo de plástico y la búsqueda de alternativas que sustituyan el uso de este material aparte de mejorar la comprensión de las tecnologías de eliminación de microplásticos.

Yaranal et al., (2021), extrajeron microplásticos de la sal comestible y utilizaron la espectroscopia de RAMAN en conjunto con el software Bio-Rad KnowItAll para caracterizarlos. El 60% de las partículas que identificaron corresponden al polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET) y nylon. Y concluyeron que el uso de una salmuera de planta desalinizadora para la producción de sal marina puede permitir beneficios como la producción de sal libre de microplásticos.

Flores-Cortés & Armstrong-Altrin (2022), caracterizaron texturalmente los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz y la abundancia e identificación de microplásticos. Separaron los microplásticos mediante densidad, los clasificaron de acuerdo con su morfología mediante MEB, color, longitud, textura y abundancia y establecieron que las partículas provienen del aporte fluvial del río Tecolutla y que han sido depositados en las costas por las corrientes oceánicas superficiales, además de que el microplástico que abundó fue de tipo fibras. Concluyeron que la abundancia de las microfibras textiles se atribuye a la mala gestión de residuos urbanos en el río Tecolutla.

Vayghan et al., (2022), analizaron la distribución espacial del sedimento y de la contaminación de los microplásticos del agua en el río Aras Dam, al noroeste de Irán. Los microplásticos que analizaron fueron separados y clasificados de acuerdo con su morfología y características físicas. Además, determinaron la composición de los polímeros por Espectroscopia de Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Utilizaron sistema de información geográfica para georeferenciar la distribución espacial de acuerdo con sus concentraciones.

Zhu et al., (2023), evaluaron la presencia y características de microplásticos en la placenta humana utilizando espectroscopia láser infrarrojo directa. Estudiaron

17 placentas humanas y todas presentaron microplásticos, con una abundancia media de 2.70 ± 2.65 partículas/g. Declaran que el tipo de microplástico que abunda son las fibras, con composición química de Policloruro de vinilo, polipropileno y succinato de polibutileno. Este estudio proporciona una comprensión más clara de los microplásticos y a su vez información crucial para realizar evaluaciones de riesgo.

Armstrong-Altrin & Machain-Castillo (2016), analizaron la mineralogía, los parámetros texturales, geoquímica y edad por radiocarbono de los sedimentos de dos núcleos de mar profundo del suroeste del Golfo de México, indicando la predominancia de montmorillonita y moscovita entre minerales arcillosos, un ambiente de depósito tóxico, la edad en foraminíferos de (~ 268 - 45738 años cal BP y ~ 104 - 25705 años cal BP), la procedencia de un ambiente de riff, entre otras características.

Armstrong-Altrin et al., (2021), determinaron la mineralogía, los parámetros texturales y la geoquímica de las playas de Tecolutla y Coatzacoalcos, playas al noroeste del Golfo de México para establecer la procedencia de los sedimentos. Analizaron los parámetros texturales y obtuvieron que los granos de arena de ambas playas en su mayoría son de grano fino a mediano, compuestas principalmente de cuarzo, seguido de feldespato y fragmentos líticos y ambas playas provienen de rocas ígneas de composición intermedia a félsica.

Ramos-Vázquez & Armstrong-Altrin (2021), analizaron la mineralogía, los parámetros texturales y la geoquímica de las playas Barra del Tordo y Tesoro, en el noroeste del Golfo de México para determinar su procedencia, obteniendo como resultados que los sedimentos se componen de cuarzo, ilmenita, magnetita, titanita, zircón y anortita, procedentes de una roca félsica.

1.3 Justificación

El uso del plástico a través de productos de higiene personal y de prendas de naturaleza sintética ha saturado nuestro entorno a grandes escalas, el mal manejo de los residuos ha provocado la acumulación de estos en dimensiones más pequeñas, denominados como microplásticos (MPs). Estos se han reportado en especies animales de consumo humano y/o en distintos ambientes y de manera reciente en el ser humano, provocando enfermedades crónico-degenerativas. El determinar su presencia, abundancia y acumulación son los objetivos del presente estudio, tratando de contribuir al conocimiento de estos en ambientes costeros en el estado de Veracruz, específicamente en playa Guadalupe.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar granulométricamente los sedimentos de la playa “Guadalupe” así como caracterizar fisicoquímicamente microplásticos encontrados para establecer una posible relación entre arenas y partículas de microplástico.

1.4.2 Objetivos específicos

- ⌘ Separar e identificar microplásticos de sedimentos mediante técnicas selectivas de densidad para diferenciarlos de acuerdo con sus características, identificarlos, cuantificarlos y clasificarlos de acuerdo con su forma y color.
- ⌘ Analizar la morfología de microplásticos mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para identificar la textura superficial e interpretar el grado de degradación.
- ⌘ Identificar las firmas espectrales de microplásticos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para conocer su composición.
- ⌘ Identificar la presencia de aditivos en microplásticos por medio de la microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS) con analizador de energías para conocer su posible procedencia.

Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Sedimentos

Los sedimentos son la materia prima de las rocas sedimentarias, estas cubren más del 80% de la superficie de la Tierra, son producidas por la descomposición de las rocas, la erosión y el transporte que involucra agentes como agua, viento, materia orgánica, y la deposición y litificación por compactación y cementación de los sedimentos.

Los sedimentos que se originan y son transportados como partículas sólidas se denominan sedimentos detríticos y las rocas que ellos forman son llamadas rocas sedimentarias detríticas, y se forman por una acumulación de material que se origina y es transportado en forma de partículas sólidas derivadas de la meteorización mecánica y química, involucrados fluidos como el agua y el aire, la diferencia de temperatura, procesos como hidratación, oxidación y la actividad de los seres vivos (Tarbuck et al., 2013).

2.1.1 Clasificación

El tipo de ambiente controla las características físicas y composicionales como la formación, el transporte y deposición de los sedimentos. En los ambientes transicionales los procesos continentales y marinos son mezclados, y la zona de transición es la línea de costa.

En las playas se depositan arenas y gravas que han sido transportadas por las corrientes marinas, el viento y los ríos. La erosión y el transporte de las mareas, la potencia de las olas, y el suministro de sedimentos modifican la morfología de la playa y le dan características texturales determinadas (Arche, 2010), por lo que las playas son consideradas ambientes transicionales.

El tamaño de grano de estos sedimentos detríticos se basa en su diámetro que define el tamizado y oscila entre aproximadamente 0.065mm (arena fina) a 2.00mm (arena muy gruesa). Agentes como las olas o las corrientes definen el tamaño de la arena dependiendo de factores como energía y transporte.

Terry & Goff, (2014) proponen la tabla modificada de la escala de Udden-Wentworth (Figura 1) en la que amplian la escala de tamaño para las partículas sedimentarias según (Blair & McPherson, 1999).

Limite del diámetro de partícula		Clase de tamaño epiclásico			
(mm)	(unidades phi)	(Esquema de Udden-Wentworth)			
2048	-11	Muy grande	Bloque	1 m	
1024	-10	Grande			
512	-9	Medio			
256	-8	Pequeño			
128	-7	Grande	Guijarro	10 ⁻¹	
64	-6	Pequeño			
32	-5	Muy grueso	Guijo	10 ⁻²	
16	-4	Grueso			
8	-3	Medio			
4	-2	Fino			
2	-1	Muy fino	(Granulo)		
1	0	Muy grueso	Arena	10 ⁻³	
1/2	1	Grueso			
1/4	2	Medio			
1/8	3	Fino			
1/16	4	Muy fino			
1/32	5	Grueso	Limo	10 ⁻⁴	
1/64	6	Medio			
1/128	7	Fino			
1/256	8	Muy fino			
1/512	9		Arcilla	10 ⁻⁵	

Figura 1. Escala ampliada de tamaño de grano de Udden-Wentworth para partículas sedimentarias. Modificado de (Murcia et al., 2013).

2.2 Microplásticos

2.2.1 Plásticos

Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos, los cuales se derivan de la polimerización de monómeros extraídos del petróleo o del gas (Derraik, 2002; Rios et al., 2007; Thompson et al., 2009).

Diferentes clases de plásticos como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad (LDPE),

(Andrady, 2011), son utilizados a diario en de diferentes maneras, la principales son: en envases, tubos, textiles, recipientes de comidas, bolsas, cosméticos, entre otros. Las técnicas de fabricación han sido optimizadas, resultando una producción de ligera, barata, duradera y resistente a la corrosión. El uso extensivo del plástico se debe a las aplicaciones inagotables y a su durabilidad, lo que hace que sea un material resistente a la degradación.

El impacto ambiental de los macroplásticos incluye la muerte de fauna como aves, mamíferos, pescados y reptiles resultados de la ingesta de los macroplásticos.

2.2.1.1 Microplásticos, definición características y procedencia

La definición de microplásticos (MPs) comprende partículas de plástico que tienen una medida menor a 5mm de longitud (Arthur et al., 2009). Los MPs se presentan en forma de fibras, pellets, películas, fragmentos y son formados mediante la acción mecánica y la degradación de desechos plásticos grandes en ambientes marinos y terrestres (Karthik, et al., 2018). MPs pueden dividirse en dos subclases: primarios y secundarios.

- ⌘ MPs Primarios: Son derivados de materiales que se producen como abrasivos en productos de limpieza, limpiadores faciales y cosméticos, así como los pellets para la producción de plástico. A su vez, las microfibras son desprendidas de los textiles de la ropa y son consideradas como microplásticos de origen primario (Andrady, 2011).
- ⌘ MPs Secundarios: Son formados por la degradación de los macroplásticos debido a procesos mecánicos o de degradación química en el medio marino. Pasado un periodo de tiempo prolongado; la radiación ultravioleta (UV) de la luz solar provoca la oxidación de la matriz del polímero, lo que conduce a la ruptura de sus enlaces (Andrady, 2011). Con la pérdida de la estructura del polímero, las partículas aumentan su susceptibilidad a la fragmentación, resultado de la abrasión, acción de las olas y turbulencia (Browne et al., 2011).

La fragmentación de los microplásticos da como resultado partículas de 1.6µm de diámetro conocidos como nanoplásticos, considerada la micropartícula de menor tamaño encontrada en los océanos (Andrady, 2011).

La presencia de nanoplásticos en el ambiente marino es probable que sea cada vez más significativa en los próximos años.

2.2.1.2 Depósito de microplásticos en el sedimento marino

Actividades como turismo costero, recreaciones, pesca comercial, embarcaciones e industrias marinas como de acuicultura, son los medios de entrada de plástico directamente al ambiente marino (Cole et al., 2011).

El depósito de MPs a lo largo de la línea de costa inicia cuando el ambiente y sus condiciones favorecen al proceso de fotooxidación; el cual propicia la degradación y fragmentación de las partículas plásticas, dando como lugar la formación in situ de los microplásticos y propiciando la acumulación de estos en el ambiente marino (Flores Cortes, 2021).

2.2.1.3 Aditivos y metales pesados en microplásticos

La contaminación de agua y suelos con microplásticos (MPs) es un problema ambiental emergente mundial. MPs constituyen una mezcla de varios aditivos y polímeros, además de absorber metales pesados del ambiente. Las superficies de los MPs juegan un papel crucial en la adsorción de metales pesados (Khalid et al., 2021). La toxicidad de los MPs en el ambiente aumenta cuando actúan como estresores antropogénicos sinérgicos al asociarse con metales pesados (Wang et al., 2019).

La capacidad de los MPs para transportar metales pesados aumenta con el tiempo que lleven en el ambiente, siendo diferente en ambientes con agua dulce y ambientes marinos debido a la meteorización y la abrasión que causan las radiaciones UV, alterando y expandiendo las superficies de los MPs tal como se puede observar en la Figura 2.

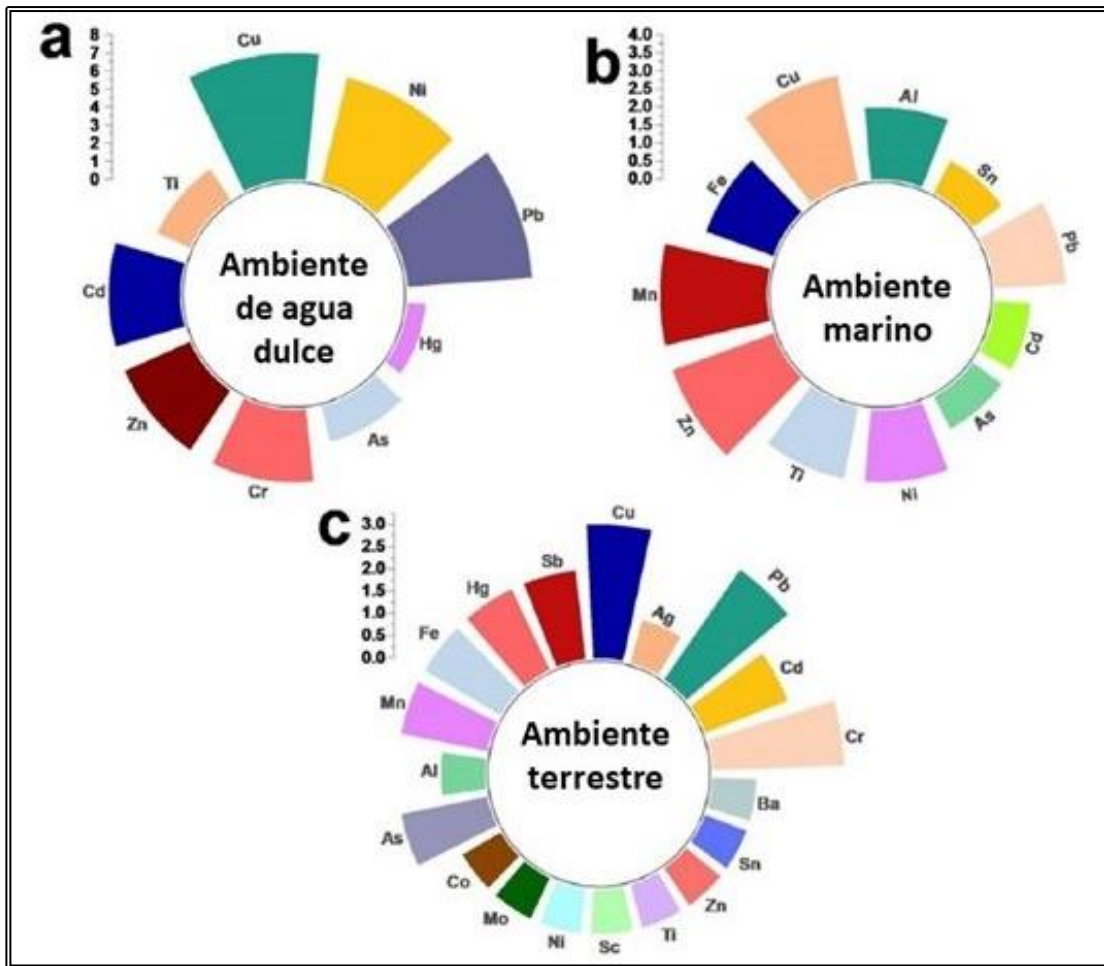


Figura 2. Proporción de varios metales pesados absorbidos en Microplásticos en diferentes ambientes a) agua dulce (n=7), b) marino (n=6) y c) terrestre (n=3). Modificado de (Khalid et al., 2021).

La adsorción de metales pesados y metaloides en MPs aumenta la probabilidad de que se bioacumulen. La fuente principal de Cr, As, Cu, Al, y Fe son efluentes de diversas industrias que se vierten al medio ambiente, principalmente en las cercanías a cuerpos de agua (Khalid et al., 2021).

Se ha visto que diferentes tipos de polímeros de MPs tienen afinidades para metales específicos (Fig. 3), por ejemplo, Cu y Zn mostraron mayor afinidad para PVC en un estudio realizado en la Isla de Madeira, Portugal (Brennecke et al., 2016).

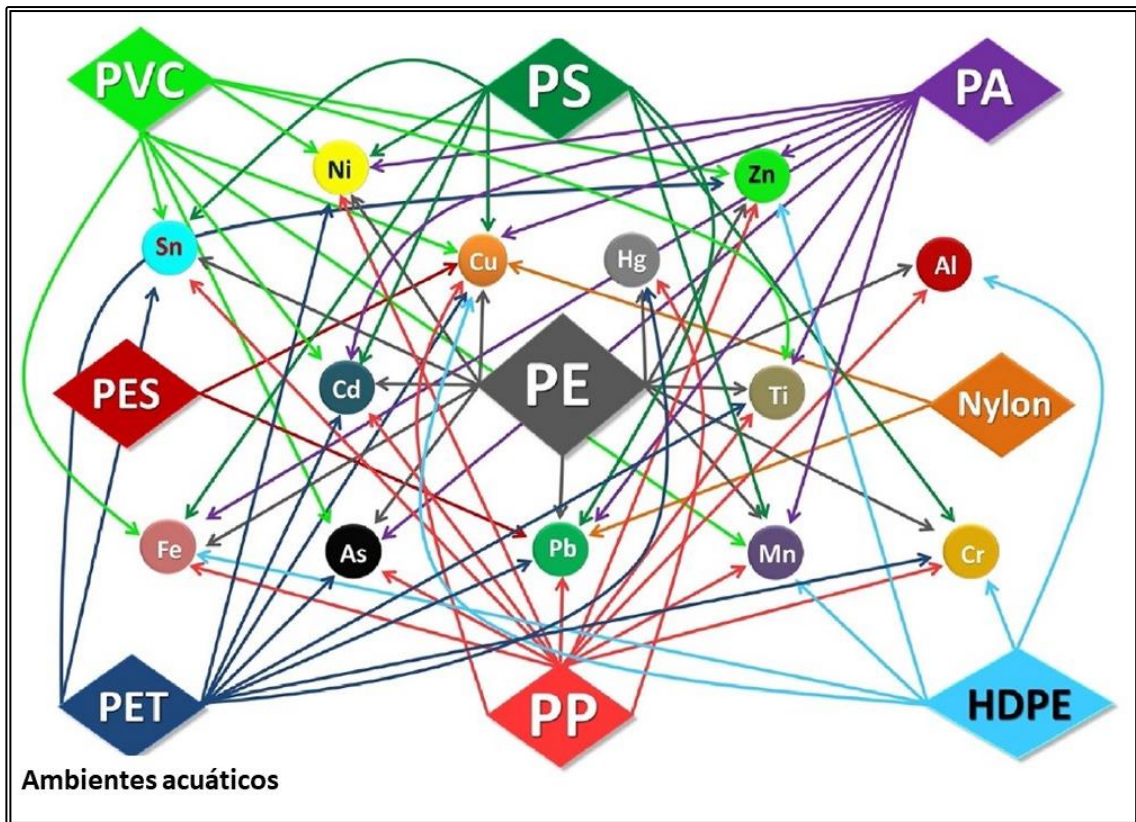


Figura 3. Asociación de metales pesados a varios tipos de MPs polímeros en el ambiente acuático. Modificado de (Khalid et al., 2021).

En los plásticos se emplea una variedad funcional de aditivos que se basan en compuestos minerales simples o más complejos que incluyen compuestos orgánicos antimicrobianos, bioestabilizadores, antioxidantes, agentes antiestáticos, lubricantes externos e internos, fragancias, retardantes de llama, estabilizadores de calor y luz, modificadores de impacto, pigmentos para color y plastificantes.

El dióxido de titanio (TiO_2) se agrega a los plásticos durante su manufactura como pigmentos blancos o bloqueadores UV, cuando el polímero TiO_2 se degrada en el ambiente, las partículas de TiO_2 probablemente son liberadas (Fries et al., 2013).

El Bario (Ba) y sus compuestos se encuentran entre los más densos utilizados en plásticos y a diferencia de otros aditivos densos basados en metales pesados (Pb y Cd), su presencia no ha sido objeto de restricciones basadas en

motivos ambientales y de salud (Turner & Filella, 2020). El sulfato de bario es un pigmento que promueve el brillo según Prunier et al., (2019), sin embargo, este aditivo también es un relleno blanco inerte que promueve resistencia a ácidos y proporciona muy buena resistencia a la intemperie (Murphy, 2003).

2.2.1.4 Daños causados, contaminación, ingesta en animales.

Los residuos plásticos se han acumulado en el medio ambiente a un ritmo incontrolable donde su velocidad está sujeta al transporte impulsado por el viento y las mareas llegando hasta las costas del mar (Wright et al., 2013). La ingesta de los microplásticos puede provenir de diversas fuentes, como la descomposición de desechos plásticos más grandes, la abrasión de productos de plástico, la liberación de microfibras sintéticas durante el lavado de prendas de vestir, entre otros (Browne et al., 2011).

Una amplia variedad de animales puede ingerir microplásticos, ya sea de manera directa o indirecta, debido a su ubicuidad en los ecosistemas acuáticos y terrestres:

- ⊗ Peces: Los peces son especialmente propensos a ingerir microplásticos, ya que pueden confundirlos con alimentos naturales, como zooplancton u otros organismos acuáticos. Los microplásticos pueden acumularse en los tejidos de los peces y potencialmente pasar a lo largo de la cadena trófica.
- ⊗ Aves: Las aves marinas, como albatros, petreles y gaviotas, pueden ingerir microplásticos al confundirlos con alimento, especialmente cuando flotan en la superficie del agua o se mezclan con otros desechos.

Canul-Campos (2023) realizó un estudio con respecto a los hábitos alimentarios del zopilote de cabeza negra durante los años 2019-2022 donde se colectaron muestras de egagrópilas del relleno sanitario de San Franchiso de Campeche y del Centro Ambiental Integral Municipal, en México, con base en el estudio se concluyó que estas aves presentaron además de huesos, plumas y pelaje, microplásticos donde aumentaron la presencia en el año 2020, llegando a la conclusión que la ingesta de

plásticos no solo está documentada en aves marinas, sino en aves terrestres.

Capítulo 3 MARCO GEOLÓGICO

3.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio

Playa Guadalupe se encuentra en la localidad La Guadalupe, población perteneciente al municipio Tecolutla del estado de Veracruz, ubicado en la costa del Golfo de México.

Dicha localidad se encuentra ubicada entre los paralelos 20° 15' y 20° 36' de latitud norte; los meridianos 96° 46' y 97° 13' de longitud oeste; altitud entre 0 y 300 m., donde se colectaron 20 muestras de arena (Fig. 4). El sitio de muestreo colinda al norte con los municipios de Gutiérrez Zamora, Papantla y el Golfo de México; al este con el Golfo de México y el municipio de Nautla; al sur con los municipios de Nautla, San Rafael, Martínez de la Torre y Papantla; al oeste con los municipios de Papantla y Gutiérrez Zamora. El clima de la región es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (98%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano (2%). El municipio de Tecolutla cuenta con una población total de 25 126 habitantes (INEGI, 2020).

Tabla 1. Muestras colectadas y sus coordenadas

MUESTRA	LATITUD (N)	LONGITUD (O)
G1	20°22'35.69"	96°55'7.67"
G2	20°22'34.47"	96°55'6.61"
G3	20°22'33.20"	96°55'5.46"
G4	20°22'31.95"	96°55'4.35"
G5	20°22'30.76"	96°55'3.17"
G6	20°22'29.59"	96°55'2.02"
G7	20°22'28.39"	96°55'0.88"
G8	20°22'27.25"	96°54'59.73"
G9	20°22'26.10"	96°54'58.54"
G10	20°22'25.00"	96°54'57.28"
G11	20°22'23.91"	96°54'56.11"
G12	20°22'22.67"	96°54'55.00"

MUESTRA	LATITUD (N)	LONGITUD (O)
G13	20°22'21.32"	96°54'53.98"
G14	20°22'20.09"	96°54'52.83"
G15	20°22'18.85"	96°54'51.64"
G16	20°22'17.65"	96°54'50.58"
G17	20°22'16.43"	96°54'49.48"
G18	20°22'15.20"	96°54'48.38"
G19	20°22'13.96"	96°54'47.25"
G20	20°22'12.65"	96°54'46.21"

3.2 Geología del Golfo de México

El origen del Golfo de México (GoM) comenzó desde el rompimiento de Pangea en el Triásico Superior al Jurásico Inferior (Winker & Buffler, 1998).

La sedimentación en esta depresión empieza con el depósito de lechos rojos continentales durante el Triásico Tardío y el Jurásico Temprano, después de lo cual, durante el Calloviano, se produce una invasión por aguas marinas provenientes del Pacífico que cubren una extensa zona con poca circulación, poco tirante de agua y alta evaporación, condiciones que favorecen el depósito de grandes volúmenes de sal en la zona central de la cuenca. Desde el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Tardío la sedimentación estuvo dominada por carbonatos, cambiando a clásticos a principios del Paleógeno a causa de la Orogenia Laramide, evento tectónico que formó la Sierra Madre Oriental (Padilla & Sánchez, 2007).

En el Paleoceno, la región continental estuvo sometida a esfuerzos corticales y a una intensa erosión de la Sierra Madre Oriental. Los sedimentos originados se distribuyeron en forma de abanicos submarinos que rellenaron las cuencas, formando así la planicie costera del Golfo de México (Rodríguez & Morales-Barrera, 2010).

Durante el Mioceno medio se presentaron los primeros signos de vulcanismo originados por la subducción de la placa de Rivera y Cocos por debajo de la

placa Norteamericana, los cuales darían origen a la formación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Hermenegildo, 2019).

Actualmente, el Golfo de México es clasificado por sus características geológicas como una cuenca oceánica tectónicamente inactiva, sin la presencia de extensión ni subducción, con un basamento compuesto de corteza oceánica con rocas sedimentarias de edades que van desde el Triásico Superior hasta el Holoceno (Allen & Allen, 2005).

3.3 Geología regional del área de estudio

Playa Guadalupe se encuentra en la Cuenca Tampico-Misantla donde afloran formaciones del Cenozoico marino, en la época del Holoceno.

Parte de los depósitos cuaternarios se ubican en la costa, la cual se formó como resultado del desarrollo fluvial-deltaico de los ríos Tuxtla, Corazones, Tecolutla y Bobos y algunos menores como el Texistepec, Negro y Misantla (Servicio Geológico Mexicano, 2004).

La zona litoral del Golfo de México pertenece a la categoría de costa marítima marginal dominada por las olas con estrecha planicie (Davis, 1989; Carranza-Edwards et al., 2019).

Los afloramientos a lo largo de las zonas costeras del Golfo de México están compuestos por aluvión (Cuaternario), rocas volcánicas de composición máficas e intermedias (Cenozoico), rocas sedimentarias clásticas calcáreas (Cenozoico y Mesozoico) y rocas metamórficas que comprenden esquisto y gneis de las edades Paleozoica y Precámbrica (Ruiz-Mendoza et al., 2021; Verma et al., 2021).

El principal río que alimenta sedimentos hacia la cuenca del Golfo de México más cerca de la zona de estudio es Tecolutla a 14.50km aproximadamente, y la litología del área de drenaje del río está denominada por rocas sedimentarias y volcánicas del Cenozoico (Armstrong-Altrin et al., 2021).

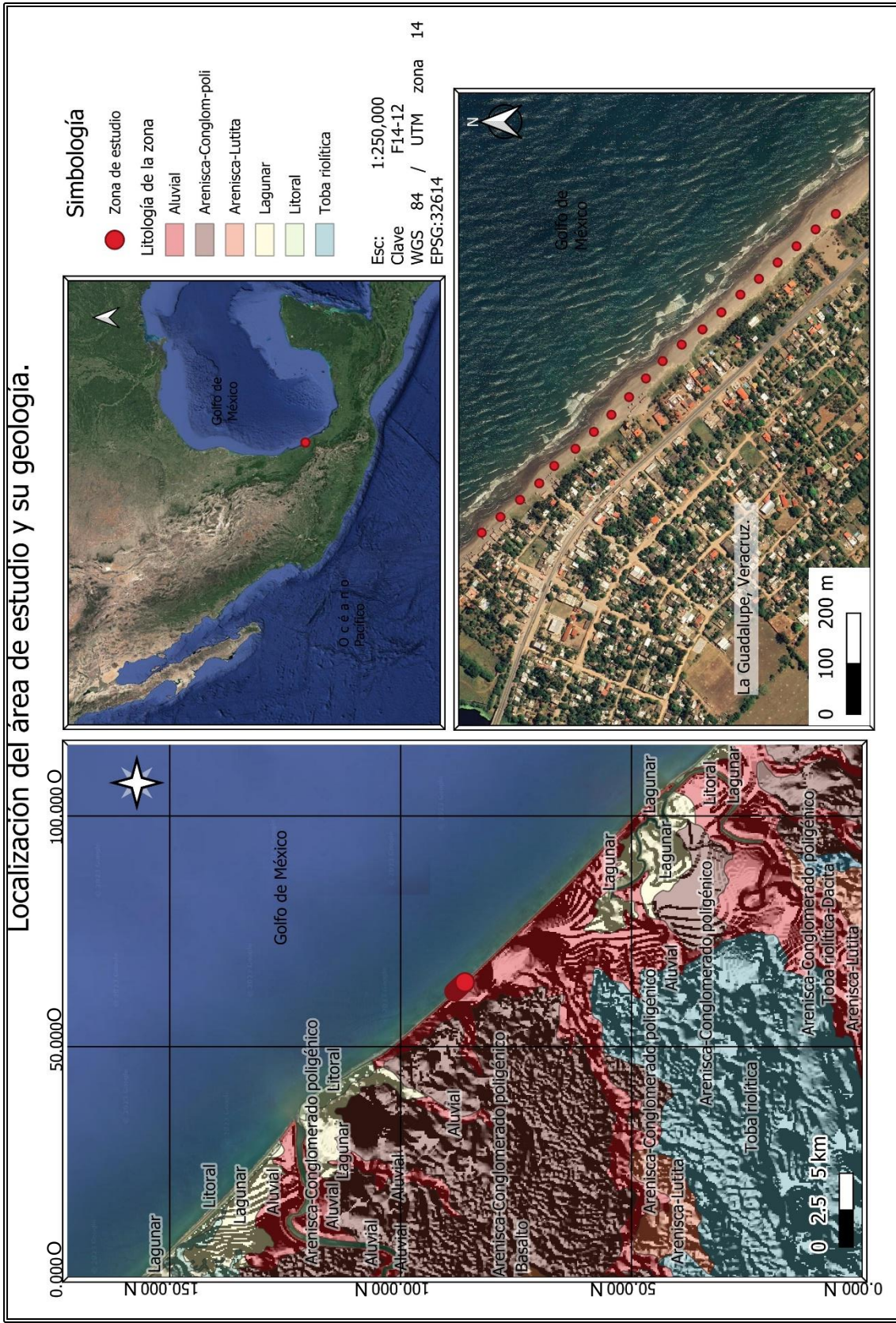


Figura 4 Mapa de la ubicación y litología de la región circundante al área de estudio.

3.4 Características oceanográficas del área de estudio.

El Golfo de México (GoM), es una cuenca semicerrada cuya dinámica oceanográfica tiene una fuerte influencia de las aguas que ingresan del Mar Caribe por el canal de Yucatán. A su vez, la salida de agua del interior hacia el Atlántico a través del canal de Florida, tienen influencia en las características oceanográficas de la costa oeste de Estados Unidos (Fiechter & Mooers, 2007). Una de las características de circulación es la corriente de Lazo, la cual presenta grandes variaciones de forma, extensión y penetración al interior del GoM, y que suministra una amplia gama de giros y remolinos que se desprenden de ella (De la Lanza-Espino, 2004).

El Golfo de México presenta dos características semipermanentes: La Corriente de Lazo, que se caracteriza por contener agua cálida, de alta salinidad y en su periferia formar núcleos de agua fría que generan cambios en la temperatura superficial y frentes térmicos; y la circulación anticiclónica en la frontera occidental, siendo este el remolino más relevante del GoM, creándose en la zona oriental, variando su diámetro estacionalmente presentando un hundimiento de agua con alta temperatura, con bajo contenido de nutrientes y alcanzando su máximo de 250km (Martínez-López & Parés-Sierra, 2017; Flores Cortes, 2021).

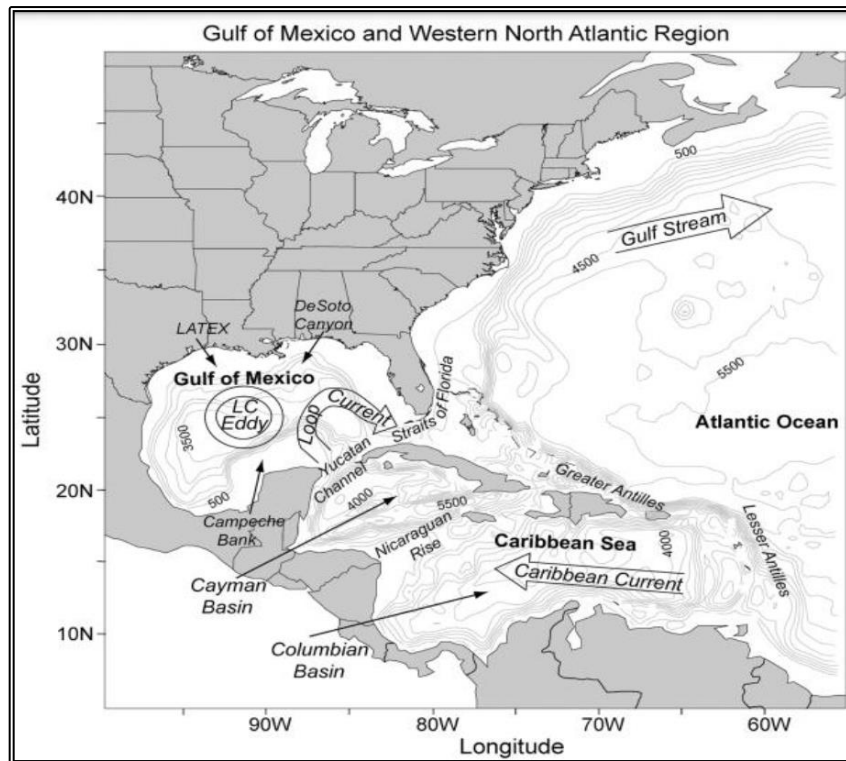


Figura 5. Mapa del Golfo de México y el Mar Caribe con esquemas que muestran las corrientes Lazo (Loop Current), la circulación anticiclónica (Eddy). (Oey et al., 2006).

El municipio de Tecolutla se encuentra influenciado por la corriente del Golfo, por lo que presenta una alta carga de nutrientes por descargas de ríos y comunidades bióticas relacionadas a los sistemas deltaicos, lagunas costeras, estuarios, cuencas hidrográficas bajas, manglares, estructuras de arrecifes costeros, pastos marinos, etc. (Yáñez-Arancibia, 2004). Así mismo, los vientos que se presentan en el municipio de Tecolutla varían estacionalmente dependiendo de las estaciones, en invierno provienen del norte y noreste y son conocidos localmente como “nortes” con velocidades de hasta 140km/h, en cambio, en el verano, el patrón de vientos se invierte y se presentan vientos llamados “suradas” con magnitudes de hasta 80km/h (Ortiz-Lozano et al., 2010).

3.5 Importancia de la zona de estudio

En el municipio de Tecolutla la actividad turística se ubica en uno de los principales ingresos a la economía, especialmente el turismo dentro de áreas sensibles a la intervención del hombre como son las playas (Ortiz-Lopez, 2013).

El turismo que se practica en la playa Tecolutla es el turismo de masas, dicha playa cuenta con 64km propios para el desarrollo de este con actividades que involucran turismo de sol y playa, aventura, arte, cultura, ecoturismo, campamento Tortuguero llamado Vida Milenaria A. C. cuya aportación a la conservación de cuatro especies de tortugas marinas ha sido desde sus inicios trascendental por el ambiente cultural y el fomento al cuidado del ambiente (Ortiz-Lopez, 2013).

El ecoturismo contribuye considerablemente a la conservación de las áreas naturales, muchas veces se ha descuidado su impacto secundario negativo sobre el medio ambiente, sólo si se reconoce e impide este impacto ambiental, se podrá lograr una compatibilidad a largo plazo entre el mandato de protección y el uso ecoturístico de las áreas naturales (Carrillo & Granja, 2006).

3.6 Características de la playa

La zona costera del municipio de Tecolutla tiene una elevación promedio de 8.74 msnm, las mayores elevaciones se encuentran en la zona norte alcanzando los 75.00 msnm. En la costa de este municipio se encuentran sistemas de dunas que son alimentados por sedimentos, transportados principalmente por el viento, provenientes de las playas ubicadas al norte.

A lo largo de la costa de este municipio se presenta una evolución de forma pulsante en donde la playa seca reduce su área con oleajes muy intensos y se reconstituye con condiciones de oleaje débil.

En general, las playas a lo largo de Tecolutla presentan sedimentos que van de tamaños finos a medios en la parte sumergida y seca de la playa. Lo anterior, indica que es una zona con oleaje energético y que el sedimento que llega a la zona de lavado y playa seca es transportado desde la zona sumergida hacia la zona de dunas. Destaca que en la zona de influencia de la desembocadura del arroyo y los riachuelos se presentan las arenas más gruesas llegando a diámetros de 0.45 5mm. Por otro lado, los valores de redondez, esfericidad y factor de forma revelan que las partículas se encuentran bien redondeadas y esféricas, resultado de intensos procesos de abrasión. Comparando los

diferentes parámetros geométricos se puede resumir que el sedimento viaja de norte hacia el sur es decir que las fuentes de sedimento provienen del norte (Lithgow et al., 2020).

Capítulo 4 METODOLOGÍA

4.1 Técnicas utilizadas

4.1.1 Separación de microplásticos

Los sedimentos están en un riesgo masivo debido a la abundancia de partículas de MPs (Bui et al., 2020). Los métodos de densidad, digestión, filtración y el tamizado han sido los utilizados para la separación de dichas partículas en los sedimentos. Sin embargo, algunos de estos métodos no se utilizan a gran escala debido a su alto costo y consumo de tiempo (Nabi et al., 2022). Para el presente estudio se utilizó el método de separación por densidad en conjunto con el método de filtración, el cual se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Método de separación de microplásticos de sedimentos Modificado de Nabi et al., (2022).

4.1.1.1 Método de separación por densidad

Según Nabi et al., (2022); en el método de separación por densidad las partículas se separan de las otras en función de su densidad. La adición de solutos de alta densidad como el cloruro de sodio (NaCl), bromuro de sodio (NaBr), Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$), Yoduro de sodio (NaI), bromuro de zinc ($ZnBr_2$) y agua desionizada hace que las partículas de MPs floten y así puedan ser filtradas, lo que hace fácil el proceso de separación. Las partículas plásticas de baja densidad como PE (polietileno), PP (polipropileno), y PS (poliéster), pueden ser fácilmente removidas usando el soluto NaCl ($\rho = 1.2gcm^3$) (Liu et al., 2020). A pesar de una gran variación, la densidad convencional de los plásticos se encuentra entre 0.90 a $1.45gcm^3$ (He et al., 2021). La técnica de separación muestra una recuperación del 91%-99% en la eliminación de seis polímeros de

MPs de los sedimentos (Nuelle et al., 2014). Este sistema es eficiente y seguro para la identificación y cuantificación de los MPs (Nabi et al., 2022). Es un método barato, conveniente y amigable con el ambiente para remover las partículas plásticas de menor densidad (Thomas et al., 2020).

4.1.1.2 Filtración

La filtración es un método fácil y conveniente en el cual un material sólido queda separado de la solución mediante un filtro (Taulbee et al., 2005).

Un filtrado típico incluye un papel filtro con un tamaño de poro relativamente grande que varía de 20 a 25 μm el cual puede filtrar MPs en decenas de micras (Nabi et al., 2022).

4.1.2 Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico permite conocer la separación de las partículas respecto al tamaño de grano que este está expresado en términos del diámetro nominal.

La representación gráfica del análisis en conjunto con parámetros estadísticos del tamaño de grano de los sedimentos fue propuesta por Folk & Ward (1957), el cual justifica la separación por tamaño y su interpretación se basa en: tamaño medio de grano, desviación estándar, oblicuidad y curtosis.

Las interpretaciones de las variaciones texturales del análisis nos permiten conocer la gradación del tamaño de grano de los sedimentos para identificar los mecanismos que operaron durante su transporte y ambientes de depósito (Zavala Leon, 2018).

Tamaño medio: Representa el tamaño de grano medio de la distribución total de los sedimentos, este se ve influenciado por la energía, gravedad específica, composición, durabilidad, naturaleza y resistencia de los sedimentos y transporte (Flores Cortes, 2021) dado por la ecuación 1.

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad \text{Ecuación 1}$$

De manera simplificada, en la siguiente tabla se aprecia la clasificación de las arenas:

Tabla 2. Escala de clasificación de las arenas.

Mz (Φ)	Clasificación
-1.0 - 0.0	Arena muy gruesa
0.0 - 1.0	Arena gruesa
1.0 - 2.0	Arena media
2.0 - 3.0	Arena fina
3.0 - 4.0	Arena muy fina

Mediana: Corresponde al 50% de la distribución del tamaño del grano. División por la mitad de las partículas más gruesas que la mediana y la otra mitad más finas (Folk & Ward, 1957).

Desviación estándar: Medida del grado de clasificación de los sedimentos, influenciado por agentes como el grado de turbulencia, velocidad de transporte, calculada por la ecuación 2.

$$\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2} \quad \text{Ecuación 2}$$

La ecuación 3 calcula la Desviación Estándar Inclusiva, que incluye el 90% de la distribución a comparación de la ecuación 2 debido a que esta última sólo toma en cuenta el centro de las dos terceras partes de la curva (Folk & Ward, 1957).

$$\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad \text{Ecuación 3}$$

El valor obtenido hace referencia a los valores de la tabla 3.

Tabla 3. Escala para sedimentos de acuerdo con su grado de clasificación.

σ_1	Clasificación
<0.35	Muy bien clasificado
0.35 - 0.50	Bien clasificado
0.50 - 0.71	Moderadamente bien clasificado
0.71 - 1.0	Moderadamente clasificado
1.0 - 2.0	Mal clasificado
2.0 - 4.0	Muy mal clasificado
>4.0	Extremadamente mal clasificado

Grado de asimetría: El grado de clasificación de la distribución de se ve reflejada por el cálculo de este parámetro bajo la ecuación 4

$$Sk_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad \text{Ecuación 4}$$

La oblicuidad también llamada grado de asimetría positiva indica un exceso de material grueso, indicando la mezcla de partículas entre arena fina y gruesa y es limitado por los valores mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Límites de asimetría para sedimentos.

Sk_1	Asimetría
1.00 - 0.30	Muy asimétrico hacia los finos
0.30 - 0.10	Asimétrico hacia los finos
0.10 - -0.10	Casi simétrico
-0.10 - -0.30	Asimétrico hacia los gruesos
-0.30 - -1.00	Muy asimétrico hacia los gruesos

Curtosis: Mide el radio de la clasificación en los extremos de la distribución comparada con la clasificación en la parte central (Zavala Leon, 2018) regida por la ecuación 5.

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44 (\phi_{75} - \phi_{25})} \quad \text{Ecuación 5}$$

Cuando la parte central de la curva está mejor clasificada que los extremos, la curva puede ser excesivamente puntiaguda y se le llama leptocúrtica, en cambio si los extremos se encuentran mejor clasificados que la porción central se le llama platicúrtica, y cuando la curva es similar a la normal recibe el nombre de mesocúrtica. (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de distribución de tamaño de sedimentos de acuerdo con la curtosis.

K_G	Clasificación
<0.67	Muy platicúrtico
0.67 - 0.90	Platicúrtico
0.90 - 1.11	Mesocúrtico
1.11 - 1.50	Leptocúrtico
1.50 - 3.00	Muy leptocúrtico
>3.00	Extremadamente leptocúrtico

Las características hacen referencia a los términos textuales propuestos por Folk & Ward (1957).

Según Rangel-Buitrago et al., (2022), el tamaño de grano y los parámetros de clasificación estadística son atributos fundamentales que pueden usarse en:

- La determinación de la viabilidad de diferentes tamaños de partículas de sedimento y MPs en los preexistentes sedimentos.
- Evaluar la resistencia de las partículas sedimentarias y la descomposición de los MPs durante la meteorización, transporte y acumulación.

- Mostrar la evidencia del proceso responsable de la transformación y acumulación de sedimentos y la concentración de MPs.

Todos estos atributos se deben a que la distribución del tamaño en sedimentos está en función de la disponibilidad de diferentes tamaños de partículas en el material original y el proceso donde se acumulan.

4.2 Técnicas analíticas

4.2.1 Microscopía electrónica de barrido (Scanning Electron Microscopy SEM)

Las imágenes SEM de alta definición nos permiten investigar las características superficiales de los MPs de manera detallada (Armstrong-Altrin et al., 2022), dichas imágenes son útiles para evaluar y analizar las condiciones superficiales de las partículas de los microplásticos, permitiendo analizar procesos como degradación.

El microscopio electrónico se define como un sistema óptico en el cual la ciencia y la tecnología hacen uso de un haz de electrones para formar imágenes magnificadas de muestras o especímenes muy pequeños. La principal ventaja de utilizar electrones, sobre el uso de luz natural o artificial, es que las imágenes formadas por el haz de electrones están provistas de mayor profundidad de campo e incremento en el poder de resolución; así como la habilidad de distinguir los más finos detalles que no serían posibles obtener por medio de otra técnica. La resolución se puede expresar en términos del mínimo espacio entre dos puntos que pueden ser vistos claramente como entidades separadas; el poder de resolución de un moderno microscopio óptico es hasta de 200nm y el de un SEM es de aproximadamente 3nm (Flenger et al., 1993). Las imágenes SEM pueden ser obtenidas para aumentos hasta de 100,000x para especímenes cubiertos con oro, con una resolución de casi 10-20 nm (Alarcón et al., 2005). Por otra parte, un SEM tiene un significativo rango de aumentos más altos (10x -180,000x) y la preparación de las muestras es relativamente fácil.

Según Flenger et al., (1993) el poder de resolución de un SEM depende de factores como lo es, el enfoque del rayo de electrones a un punto muy estrecho sobre la muestra que barre la superficie de la misma y la interacción del rayo con la muestra que genera electrones secundarios, que son usados para crear la imagen, es decir, que la imagen no se produce de una manera óptica como en el microscopio óptico, esto es, en un microscopio electrónico la imagen se produce en un tubo de rayos catódicos.

En un SEM, el diámetro del rayo es el que determina la resolución, ningún rasgo o característica en el espacio interlínea (barrido) que sea más pequeña que el diámetro del haz puede tener resolución. Las ventajas proporcionadas por el poder de resolución y amplificación a menudo son intercambiadas incorrectamente. La capacidad de alta amplificación es frecuentemente citada como la primera razón para usar un microscopio electrónico, pero la amplificación se logra aumentando el poder de resolución lo que provee realmente la ventaja. De cualquier modo, es usual considerar que el poder de resolución y amplificación son inseparables. Resumiendo, como la necesidad de poder de resolución existe, el técnico puede escoger la amplificación apropiada para distinguir los rasgos deseados del espécimen dado que un detalle más pequeño requiere mayor amplificación para ser visible al ojo del humano.

Debido a que el microscopio electrónico emplea un haz de electrones, la información generada durante la formación de las imágenes es en blanco y negro. El color está en función del espectro de luz visible, y las imágenes generadas por un microscopio electrónico se realizan a partir de un espectro de luz no visible.

En la [Figura 7](#) se muestra un diagrama básico de un SEM, donde el cañón electrónico produce un haz de electrones que es atraído hacia el ánodo, este rayo es condensado por lentes condensadores y enfocado como un punto fino sobre la superficie del espécimen por el lente del objetivo. Un juego de pequeños rollos de alambre, llamados bobinas de rastreo, se localiza dentro del

lente del objetivo; los rollos son energizados por un voltaje variante producido por el generador examinador creando un campo magnético que desvía el haz de electrones de un lado a otro con un patrón controlado llamado barrido, el barrido es muy similar al barrido en un receptor de televisor (Flenger et al., 1993).

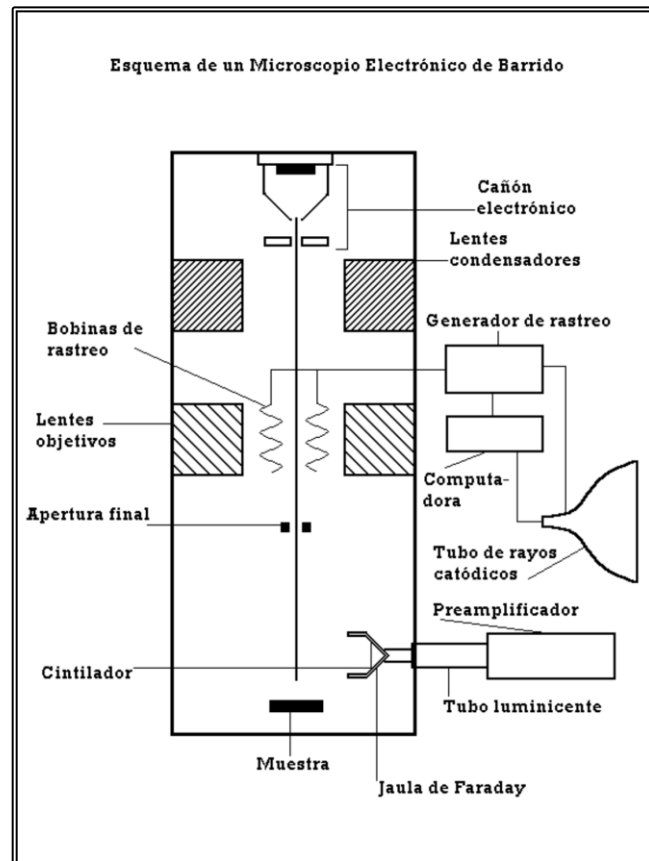


Figura 7. Esquema de un microscopio electrónico de barrido. (Flenger et al., 1993).

El uso del SEM en microplásticos identifica las superficies dañadas o debilitadas por tiempo de exposición al medio, o intemperismo físico/químico, que frecuentemente presentan evidencias claras de rugosidad, porosidad, fracturas y grietas (Girão, 2020).

4.2.2 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)

La moderna espectrometría en el infrarrojo es una herramienta multifacética que se aplica a la determinación cualitativa y cuantitativa de especies moleculares de todo tipo. La espectrometría de absorción y reflexión en el infrarrojo medio

es la principal herramienta para determinar la estructura de especies orgánicas y bioquímicas. Las aplicaciones más importantes de esta región espectral se encuentran en el análisis cuantitativo de materiales industriales y agrícolas y en los procesos de control (Douglas et al., 2008).

La radiación electromagnética es una forma de energía que se propaga como ondas y puede ser subdividida en regiones de longitudes de onda características (Mauricio, 2014).

Según Douglas et al., (2008); la región infrarroja (IR) del espectro comprende radiación con número de onda que varía entre 12800 y 10cm⁻¹ o longitudes de onda de 0.78 a 1000µm. Los rangos de longitud de onda de energía electromagnética de interés para el infrarrojo se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Rangos de longitud de onda de espectrofotometría infrarrojo.

Infrarrojo cercano (NIR)	780 nm - 2500 nm (12800 cm ⁻¹ - 4000 cm ⁻¹)
Infrarrojo medio (MIR)	2,5 µm - 25 µm (4000 cm ⁻¹ - 400 cm ⁻¹)
Infrarrojo lejano	25 µm - 400 µm (400 cm ⁻¹ - 25 cm ⁻¹)

Según Faix (1992); La espectroscopia FTIR puede aplicarse con gran ventaja en áreas especializadas dónde se requiere alta sensibilidad y precisión, El análisis permite hacerse en soluciones acuosas o muestras sólidas con énfasis en investigaciones en la evaluación cuantitativa y en experimentos donde el tiempo de análisis es un factor limitante, además el intemperismo químico de los microplásticos se puede confirmar por los picos de absorción cercanos a 1715 cm⁻¹, indicando grupos cetona (C=O) en ausencia de PE y PP virgen (Wang et al., 2017).

FTIR recaba datos espectrales a alta resolución dentro de un amplio rango de frecuencias espaciales (4,000-600 cm⁻¹) la técnica es especialmente apropiada para identificar los diferentes grupos de átomos específicos, o grupos funcionales, en una molécula (Crawford & Quinn, 2017).

FTIR es la técnica para la identificación de microplásticos más usada para identificar el tipo de polímero que conforma la composición del microplástico, permitiendo así identificar la composición del polímero. En la Figura 8 se observan diversos espectros de los polímeros más comunes, así mismo, en la Tabla 7 se observa una lista donde se describe el tipo de polímero, la estructura química y la absorción de las bandas en cm^{-1} utilizadas para identificación obtenidas mediante análisis de FITR.

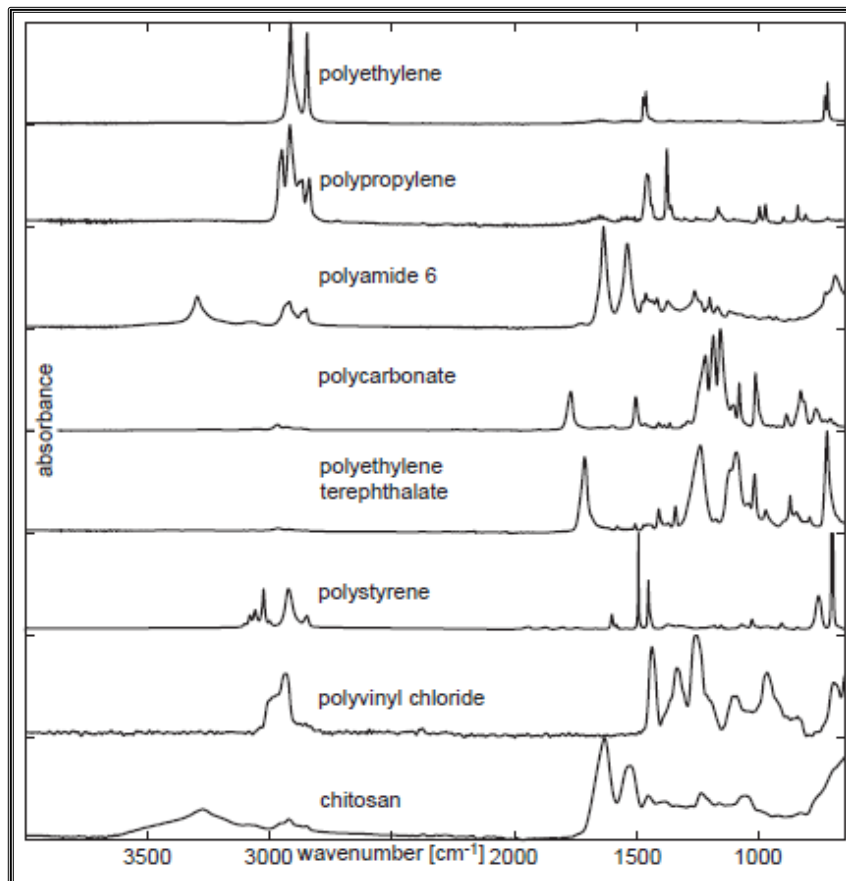
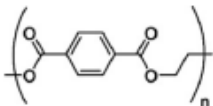

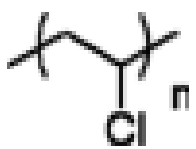



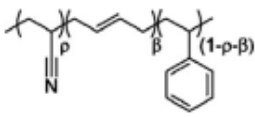
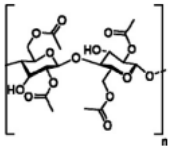
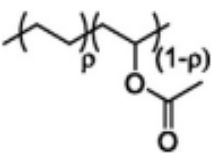
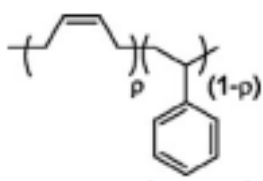
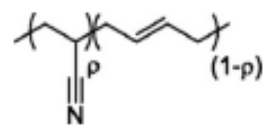
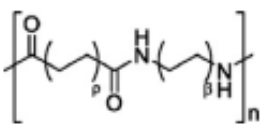
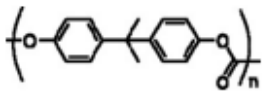


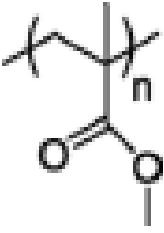

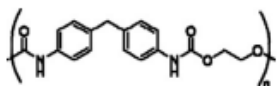
Figura 8. Espectros FTIR de polímeros comunes de referencia para análisis de microplásticos. El quitosano se incluye como representante natural de biopolímeros. (Renner et al., 2017).

Tabla 7. La estructura química y adsorción de las bandas correspondiente a cada tipo de polímero. Tabla modificada de (Jung et al., 2018).

Polímero	Estructura Química	Bandas de absorción (cm ⁻¹) utilizadas para la identificación
Tereftalato de polietileno (PETE)		1713 (a) 1241 (b) 1094 (c) 720 (d)
Polietileno de Alta densidad (HDPE)		2915 (a) 2845 (b) 1472 (c) 1462 (d) 717 (f) 730 (e)
Policloruro de vinilo (PVC)		1427 (a) 1331 (b) 1255 (c) 1099 (d) 966 (e) 616 (f)
Polietileno lineal de baja densidad (LDPE)	 R = H or alkyl (LLDPE), PE (LDPE)	2915 (a) 2845 (b) 1467 (c) 1462 (d) 1377 (e) 730 (f) 717 (g)
Polipropileno (pp)		2950 (a) 2915 (b)

Polímero	Estructura Química	Bandas de absorción (cm ⁻¹) utilizadas para la identificación
		2838 (c) 1455 (d) 1377 (e) 1166 (f) 997 (g) 972 (h) 840 (i) 808 (j)
Poliestireno (PS)		3024 (a)
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)		2847 (b) 1601 (c) 1492 (d) 1451 (e) 1027 (f) 694 (g) 537 (h)
Acetato de Celulosa		2922 (a) 1602 (b) 1494 (c) 1452 (d) 966 (e) 759 (f) 698 (g)
Acetato de etileno y vinilo		1743 (a) 1368 (b) 904 (c) 600 (d)
		2917 (a) 2848 (b)

Polímero	Estructura Química	Bandas de absorción (cm ⁻¹) utilizadas para la identificación
		1740 (c) 1469 (d) 1241 (e) 1020 (f) 720 (g)
Latex		2960 (a)
		2920 (b) 2855 (c) 1167 (d) 1447 (e) 1376 (f)
Nitrilo		2917 (a)
		2849 (b) 2237 (c) 1605 (d) 1440 (e) 1360 (f) 1197 (g) 967 (h)
Nailon (Todas las poliamidas)		3298 (a)
		2932 (b) 2858 (c) 1634 (d) 1538 (e) 1464 (f) 1372 (g) 1274 (h) 1199 (i) 687 (j)
Polycarbonato (PC)		2966 (a)
		1768 (b)

Polímero	Estructura Química	Bandas de absorción (cm ⁻¹) utilizadas para la identificación
		1503 (c) 1409 (d) 1364 (e) 1186 (f) 1158 (g) 1013 (h) 828 (i)
Poli (metacrilato de metil)		2992 (a)
		2949 (b) 1721 (c) 1433 (d) 1386 (e) 1238 (f) 1189 (g) 1141 (h) 985 (i) 750 (j)
Polytetrafluortileno (PTFE)		1201(a)
		1147 (b) 638 (c) 554 (d) 509 (e)
Poliuretano		2865 (a)
		1731 (b) 1531(c) 1451 (d) 1223 (e)

4.2.3 Microscopia Electrónica de Barrido con analizador de energías dispersivas (SEM-EDS)

El análisis de microsonda electrónica es una moderna técnica, de gran precisión y sensibilidad, fundamental para el desarrollo de análisis cualitativo y cuantitativo, cuyo principio es bombardear un fino haz de electrones dirigido sobre un espécimen con el fin de medir la longitud de onda e intensidad de los Rayos-X característicos emitidos, así como las intensidades de los electrones secundarios y electrones retrodispersados. Los Rayos-X característicos generados en la muestra son detectados por espectrómetros dispersores de longitud de onda y, por lo tanto, un análisis cualitativo es fácil de obtener identificando las líneas de sus longitudes de onda. Comparando las intensidades de estas líneas con aquellas emitidas por los estándares (elementos puros o componentes de composición conocida) es posible también determinar las concentraciones de los elementos (análisis cuantitativo).

Este análisis utiliza un detector en estado sólido para analizar simultáneamente todas las energías de los fotones de Rayos-X, lo cual es una ventaja para muchas aplicaciones tales como el mapeo composicional. Los detectores del EDS consisten en un detector semiconductor (usualmente de silicio, aunque también de germanio), conectado a un transistor de efecto de campo (FET) que sirve como preamplificador. La absorción de los fotones de Rayos-X a través de los cristales detectores conduce a la eyección de un fotoelectrón que precipita la formación de múltiples pares electrón-hueco, los cuales son luego convertidos a un pulso de carga que a su vez es convertido a pulso de voltaje que es amplificado, formado y finalmente analizado por la electrónica asociada. (Alarcón & Reyes, 2005).

Los Rayos X se producen en el área de interacción del espécimen con el haz de electrones, así como los electrones secundarios, los electrones retrodispersados y los electrones Auger. En un mejor sentido, los Rayos X son fotones, no electrones y tienen poca probabilidad de perder su energía. La profundidad es esencialmente la misma como la del área entera de interacción

del haz de electrones y el espécimen. La gran resolución analítica espacial en una sección delgada es debido a dos factores; al escaso grosor de la sección y a la profundidad de área de la interacción del espécimen y el haz de electrones.

En el EDS, el haz electrónico primario del microscopio electrónico de barrido ioniza los átomos del mineral que se está analizando por excitación y proyección electrónica en los orbitales más cercanos de los átomos. Para recobrar la estabilidad, los electrones de las órbitas más exteriores reemplazan las vacantes de los orbitales más cercanos. Estas transiciones de las órbitas más externas a más internas liberan cantidades específicas de energía en la forma de Rayos X. La energía de cada rayo es determinada por las diferencias de energía entre los orbitales electrónicos involucrados y las diferencias en el espín electrónico y el número de protones en el núcleo.

La corriente que fluye entre los electrodos cuando un rayo entra al detector, normalmente es referida como un pulso; cada pulso es amplificado y entonces pasa a un analizador multicanal (AMC) en donde el pulso es registrado, de esta forma, el AMC, colecta un histograma de todas las energías que llegan al detector. El histograma es desplegado en un monitor y en un minuto o menos puede ser obtenido un espectro. El sistema EDS es controlado por una computadora que almacena las energías de los Rayos X de todos los elementos, consecuentemente es muy simple para la computadora, identificar el elemento que da origen a una línea en el espectro, o alternativamente indicar sobre el monitor las posiciones sobre el espectro para la aparición de cualquier elemento. Así, el análisis cualitativo es extremadamente rápido con el sistema; el sistema de cómputo tiene programas que permiten hacer análisis cuantitativos mediante dos formas: (1) por comparación del espectro obtenido con estándares internos y (2) por comparación con estándares externos (Reyes & Martiny, 1993).

Capítulo 5 DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1 Trabajo en campo

5.1.1 Muestreo en arenas de playa

Las muestras de los sedimentos fueron obtenidas durante el muestreo del 31 de agosto al 9 de septiembre de 2018 dentro de proyectos de investigación CONACYT A1-S-21287 y PAPIIT – IN104824 en las costas de la playa Guadalupe, Tecolutla, Veracruz.

Se colectaron 20 muestras de arena de playa a lo largo de 2 km de la zona de mesoplaya cada una de entre 250g a 500g, a 50 metros de separación aproximadamente. Las 20 muestras fueron colocadas en bolsas de plástico y etiquetadas bajo la nomenclatura “Guadalupe 1- 20”.

5.2 Trabajo de laboratorio

5.2.1 Preparación de muestras

5.2.1.1 Secado, Pesaje y Tamizado

Al análisis granulométrico le antecede el secado de las muestras, para así continuar con el proceso de pesaje, el cual se efectuó con la balanza analítica OHAUS®Explorer. Se pesaron entre 35 y 41 gramos de arena de cada una de las 20 muestras para después pasar a la separación en seco por tamaño de grano, en el que se utilizó un tamizador Ro-Tap Tyler Industrial Products con una columna de tamices ASTM (American Society for Testing and Material) con dimensiones de separación mostradas en la Tabla 8.

Todos los procesos anteriormente mencionados fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Las partículas que quedaron en cada malla fueron separadas y pesadas, cuantificando el tamaño de grano con el porcentaje de peso acumulado.

Tabla 8. Medidas de Φ de las mallas.

Φ
-0.25
0.50
0.75
1.00
2.00
2.25
2.50
2.75
3.00
3.25
3.50
3.75
4.00

Para el análisis de las muestras fue necesario pesar 15g, 30g y 45g de arena de las muestras G1, G11 y G19 y 30g de las muestras G3, G5, G7, G9, G13, G15 y G17.

Una vez pesadas se le asignó la letra G para su reconocimiento del sitio, seguido del número de la muestra (1, 2, 3, 4... 20), precedido de la letra A para 15g. B 30g y C para 45. Por ejemplo. G1A; muestra G1, con 15g de arena de playa.

Las muestras pesadas y etiquetadas de acuerdo con la nomenclatura explicada anteriormente se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Muestras etiquetadas en relación con los g de sedimentos.

Muestra	Peso en gr	Muestra etiquetada
G1	15	G1A
G1	30	G1B
G1	45	G1C
G11	15	G11A
G11	30	G11B
G11	45	G11C
G19	15	G19A
G19	30	G19B
G19	45	G19C

Muestra	Peso en gr	Muestra etiquetada
G3	30	G3B
G5	30	G5B
G7	30	G7B
G9	30	G9B
G13	30	G13B
G15	30	G15B
G17	30	G17B

5.2.2 Análisis de muestras

5.2.2.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico consta de tamizar el sedimento seco y calcular los valores de tamaño medio (Mz), mediana, desviación estándar (σ_ϕ), grado de asimetría (Sk_1), y curtosis (K_G) por medio de las ecuaciones y los parámetros explicados en el capítulo 4.1.2. **Análisis granulométrico.**

5.2.2.2 Extracción de microplásticos

La extracción de los MPs se hizo con base a los estudios realizados por Nabi et al., (2022), la cual realiza una separación por densidad y filtración con cloruro de sodio (NaCl) de partículas de microplásticos en un medio acuoso.

Se utilizaron las muestras de arena previamente pesadas G1A, G1B, G1C, G11A, G11B, G11C, G19A, G19B, G19C, G3B, G5B, G7B, G9B, G13B, G15B y G17B; estas se colocaron en vasos de precipitado de 250ml. Agregando una solución saturada de NaCl preparada con agua destilada, la solución final no debe de rebasar una densidad de 1.2g/cm^3 (Tabla 10).

Tabla 10. Relación de g de las muestras con los ml de solución en sedimentos de la playa Guadalupe.

(gr)	ml de solución
15	45
30	90
45	135

Las muestras de arena se vaciaron en vasos de precipitado con los ml de solución saturada correspondientes. Se agitaron en una parrilla de agitación magnética a temperatura ambiente por 5 minutos (Figura 9) seguido se reposó por 24 hrs; esto con la finalidad de separar por densidad las partículas inmersas en el medio acuoso, el sedimento precipitado se desechó y la solución fue filtrada utilizando jeringas de 20 ml acopladas a membranas marca MF-Millipore de 0.22 μm MOE Membrane de 2.5 mm donde se extrajo la suspensión y los MPs retenidos en la membrana.



Figura 9. Agitación magnética de las muestras.

En la Figura 9 se muestra el final del proceso que incluye pasar toda la solución por el filtro en las muestras G1A, G1B, G1C, G11A, G11B, G11C, G19A, G19B, G19C, G3B, G5B, G7B, G9B, G13B, G15B y G17B procesando un total de 17 membranas con MPs extraídos.



Figura 10. Muestras G1A, G1B, G1C, G11A, G11B, G11C, G19A, G19B, G19C, G3B, G5B, G7B, G9B, G13B, G15B y G17B de papel filtro con MPs extraídos mediante densidad y filtración.

5.2.2.3 Cuantificación y clasificación

Una vez extraídos los MPs en cada membrana se secaron a temperatura ambiente, llevando el conteo y clasificación mediante su color y forma utilizando un microscopio estereoscópico marca VELAB VE-S4 (Figura 11).



Figura 11. Microscopio VELAB VE-S4.

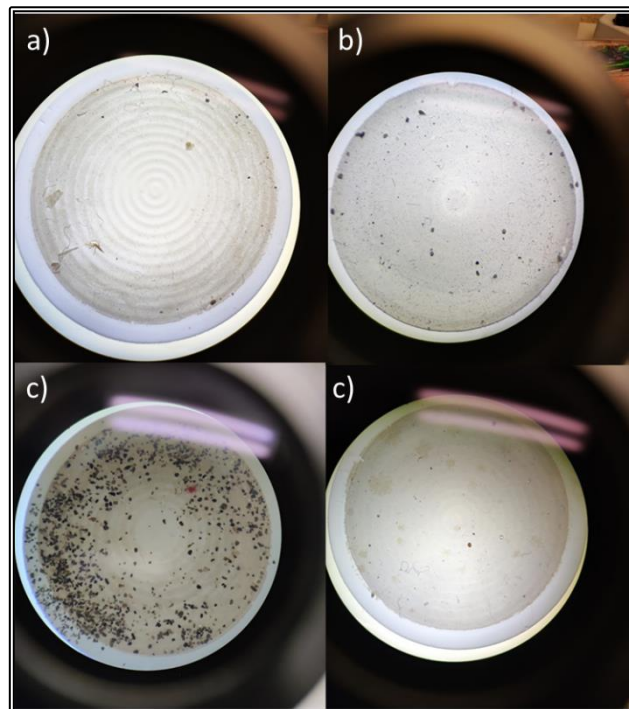


Figura 12. Filtros con microplásticos vistas desde el microscopio. a) G3B b) G5B c) G19B y d) G13B.

5.2.2.4 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Para el análisis SEM se hizo la elección de los MPs en función de forma (fibra, fragmento).

Una vez elegidos los MPs se montaron en tres diferentes porta muestras de aluminio recubiertos con cinta adherible doble cara como se puede apreciar en la Figura 13.

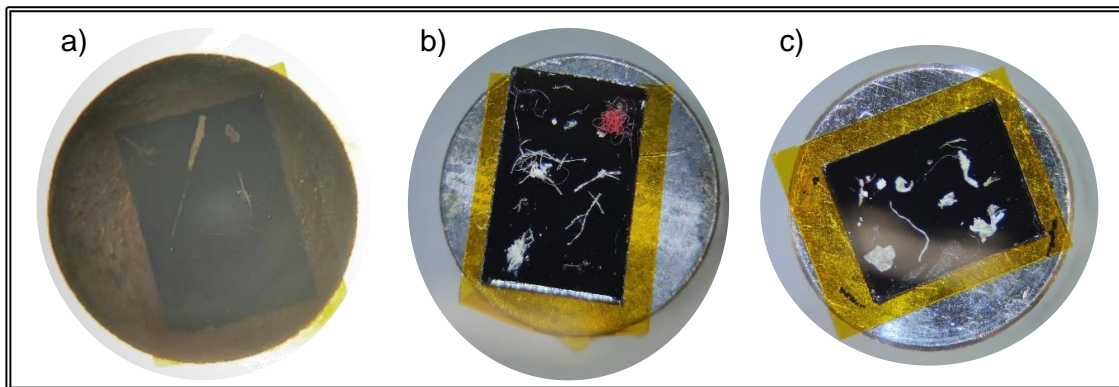


Figura 13. Microplásticos montados en porta muestras para análisis SEM. a) Porta muestra con MPs de la muestra G3B. b) Porta muestra con MPs de las muestras G3B, G7B, G9B y G15B. c) Porta muestra con MPs de las muestras G11B, G11C, G19B y G19A.

Los porta muestras se llevaron al Laboratorio de Micropaleontología y Paleoceanografía en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología para su observación y descripción.

Las muestras fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido modelo JEOL JSM6360LV equipado con detectores de electrones secundarios y retro dispersos (Fig. 14).



Figura 14. Servicio Académico de Microscopía Electrónica de Barrido, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

5.2.2.5 Infrarrojo Transformado de Fourier (FT-IR)

El análisis IR se realizó en el Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM.

Se seleccionaron diferentes fibras de diferente color. Los MPs seleccionados se acomodaron en porta objetos etiquetados.

El análisis infrarrojo se realizó en un espectrómetro Nicolet is50R en conjunto con la computadora que opera el equipo (Figura 15) con un aditamento de Reflectancia Total Atenuada modelo Smart-Itx, con un cristal de diamante con una ventana óptica de medición de 4000 a 525 cm^{-1} . Para la identificación de los polímeros se utilizó el software OMNIC versión 7.2 y se comparó el resultado con las bibliotecas espectrales como: Aldrich Sample Library, Organics Sample Library, Sigma Biological Sample Library y Hummel Polymer Sample Library.

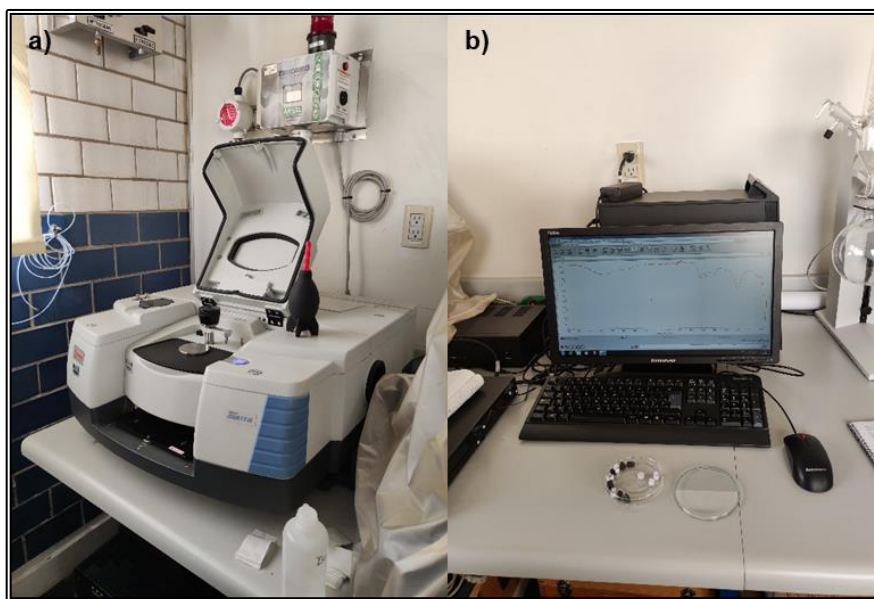


Figura 15. a) Espectrómetro Nicolet is50R b) Computadora que opera en conjunto el espectrómetro de análisis IR y el porta objetos que contiene cubos de papel con microplásticos a analizar.

5.2.2.6 Microscopia Electrónica de Barrido con analizador de energías (SEM-EDS)

Las muestras fueron llevadas en un porta muestras de vidrio al Laboratorio Universitario de Petrología (LUP) del Instituto de Geofísica, UNAM (Fig. 16) para ser analizadas mediante un microscopio electrónico de barrido con espectrometría de energía dispersa marca JEOL modelo JXA-8900R.

Para el análisis fueron seleccionadas únicamente tres muestras G1, G11 y G19 considerando que estas muestras podrían mostrar si existen diferencias a lo largo de la playa.

La preparación de las muestras comprende de un lavado cuidadoso del porta objetos, con acetona para eliminar cualquier rastro de muestra pasada, se secaron y seguido se colocó un fragmento de cinta doble cara de grafito en donde se adhirieron los MPs, recubriendo las muestras y el porta objetos con grafito (Fig. 17) con la finalidad de aumentar la conductividad eléctrica del material.



Figura 16. Equipo de SEM-EDS a) vista acercada del funcionamiento del software b) vista panorámica de equipo.



Figura 17. Muestras con microplásticos sobre una hoja de papel al momento de ser recubiertas por grafito, Laboratorio Universitario de Petrología (LUP) UNAM.

Capítulo 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis Granulométrico

Los resultados del análisis granulométrico y de los parámetros de grano de las 20 muestras de acuerdo con Folk & Ward (1957), fueron los siguientes:

Tabla 11. Parámetros de tamaño de grano para 20 muestras de sedimento de playa Guadalupe.

Muestra	Mz	$\sigma\Phi$	Sk1	KG	Clase de Mz	Clase de $\sigma\Phi$	Clase de Sk1	Clase de KG
G1	2.42	0.30	0.30	1.86	Arena fina	Muy bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Muy leptocúrtico
G2	1.96	0.40	- 0.04	0.92	Arena media	Bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
G3	2.10	0.40	0.03	0.98	Arena fina	Bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
G4	2.00	0.37	0.16	1.13	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Leptocúrtico
G5	1.98	0.38	0.41	0.98	Arena media	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Mesocúrtico
G6	2.33	0.36	- 0.20	1.02	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Mesocúrtico
G7	2.30	0.42	0.08	1.32	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Leptocúrtico
G8	2.11	0.39	- 0.03	0.94	Arena fina	Bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
G9	2.32	0.44	0.00	1.22	Arena fina	Bien clasificado	Casi simétrico	Leptocúrtico
G10	2.30	0.40	- 0.56	1.10	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Mesocúrtico
G11	1.78	0.37	2.12	1.15	Arena media	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Leptocúrtico
G12	2.13	0.35	- 0.23	0.82	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Platicúrtico
G13	2.03	0.35	0.10	0.93	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Mesocúrtico
G14	2.03	0.35	- 0.01	1.04	Arena fina	Bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico
G15	1.56	1.04	- 0.67	0.46	Arena media	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Muy platicúrtico
G16	2.39	0.40	- 0.69	1.06	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Mesocúrtico
G17	1.65	1.10	- 0.66	11.92	Arena media	Mal clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Extremadamente e leptocúrtico
G18	2.21	0.37	- 0.26	-1.89	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los gruesos	Muy platicúrtico
G19	2.26	0.38	0.17	1.08	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia los finos	Mesocúrtico
G20	2.16	0.43	0.05	1.04	Arena fina	Bien clasificado	Casi simétrico	Mesocúrtico

De acuerdo con la clasificación del tamaño de grano de las arenas propuesto por Terry & Goff (2014), la clasificación del tamaño medio (M_z) oscila entre 2.03

y 2.42, lo que corresponde al 75% de las 20 muestras analizadas, para el 25% restante el valor va de 1.56 a 1.98 lo que corresponde a arenas medias, por lo que el tamaño de grano en las 20 muestras va de arenas finas a medias, con predominancia en arenas finas en 15 muestras, estudios previos realizados en la costa de Veracruz, determinaron los parámetros texturales en Tecolutla y Coatzacoalcos, encontrando una similitud en la tendencia de la distribución del tamaño de partícula indicando que el tamaño de grano va de fino a medio (Armstrong-Altrin et al., 2021), así mismo otro estudio realizado en la playa Tecolutla determinó la clasificación de las arenas como finas, obteniendo únicamente una muestra con tamaños de grano medio (Flores-Cortés & Armstrong-Altrin 2022) lo que se asemeja a los resultados con el presente estudio.

Basándose en los criterios para definir el análisis granulométrico de desviación estándar, propuestos por Folk (1954) el 90% de los valores oscilan de 0.353 a 0.440 Φ indicado que la arena de playa Guadalupe se encuentra bien clasificada, únicamente el 5% muy bien clasificada con valor de 0.304 Φ y el restante como mal clasificada. Zavala Leon (2018) determinó que la arena de playa Atasta, Veracruz, se encuentra moderadamente bien clasificada a bien clasificada, siendo características de los sedimentos de ambientes de playa, la naturaleza moderadamente bien clasificada de los sedimentos también está relacionada con el efecto del oleaje, por el ascenso y descenso de los flujos de agua (Suganraj et al., 2013).

En cuanto al grado de asimetría el 35% corresponde a muestras con tendencia a muy asimétricas hacia los finos con valores entre 0.08 ϕ y 2.1 ϕ mientras que, para otro 35% su clase corresponde a muy asimétrico hacia los gruesos, con valores que van de -0.203 ϕ a -0.69 ϕ , finalmente para la distribución casi simétrica corresponden el 30% de las muestras de arena donde se determinaron valores que van de -0.05 ϕ a 0.030 ϕ . Contrastando los resultados de la oblicuidad y de desviación estándar Flores Córtes (2021), las características de la distribución simétrica de las partículas del presente estudio

obedecen a la acción y al movimiento continuo de las olas y el retrabajo de los sedimentos atribuidos por la adición de arenas de río influenciados por la cercanía y atribución de los ríos aledaños, en este caso, el Río Tecolutla.

Acerca de los valores de curtosis 55% de las muestras se encuentran entre 0.922ϕ y 1.088ϕ dentro de distribución mesocúrtica, lo que indica que los sedimentos se encuentran con poca diferencia de tamaños de grano en comparación con los obtenidos por Olivares-Cruz (2010), para un 20% los valores van de 1.138ϕ a 1.321ϕ por lo que se clasifica como leptocúrtica, por otro lado, muestras restantes tienen valores que las categorizan en distribuciones diferentes, el 5% muy leptocúrtica con valor de 1.86ϕ , otro 5% platicúrtica y su valor es de 0.82ϕ siendo este valor un indicador de diferencia en los tamaños de grano para distribución extremadamente leptocúrtica corresponde a 5% con el valor de 11.92ϕ y finalmente 10% de los valores de estas muestras que se encuentran entre -1.89ϕ y 0.46ϕ coincide con la clasificación muy platicúrtico, la distribución de tipo mesocúrtica de las arenas analizadas en playa Guadalupe se ha relacionado con sedimentos unimodales las cifras que implican valores muy altos o bajos de curtosis obedecen a las características de la clasificación de ambientes de alta energía (Folk & Ward, 1957; Friedman, 1962).

6.2 Cuantificación y clasificación de los microplásticos

Los resultados del conteo y clasificación de MPs con base en su morfología se presentan en las Figuras 18-21 las cuales describen por color el total de microplásticos encontrados en cada muestra, así como si se presentan de manera de fragmentos o fibras y su comparación.

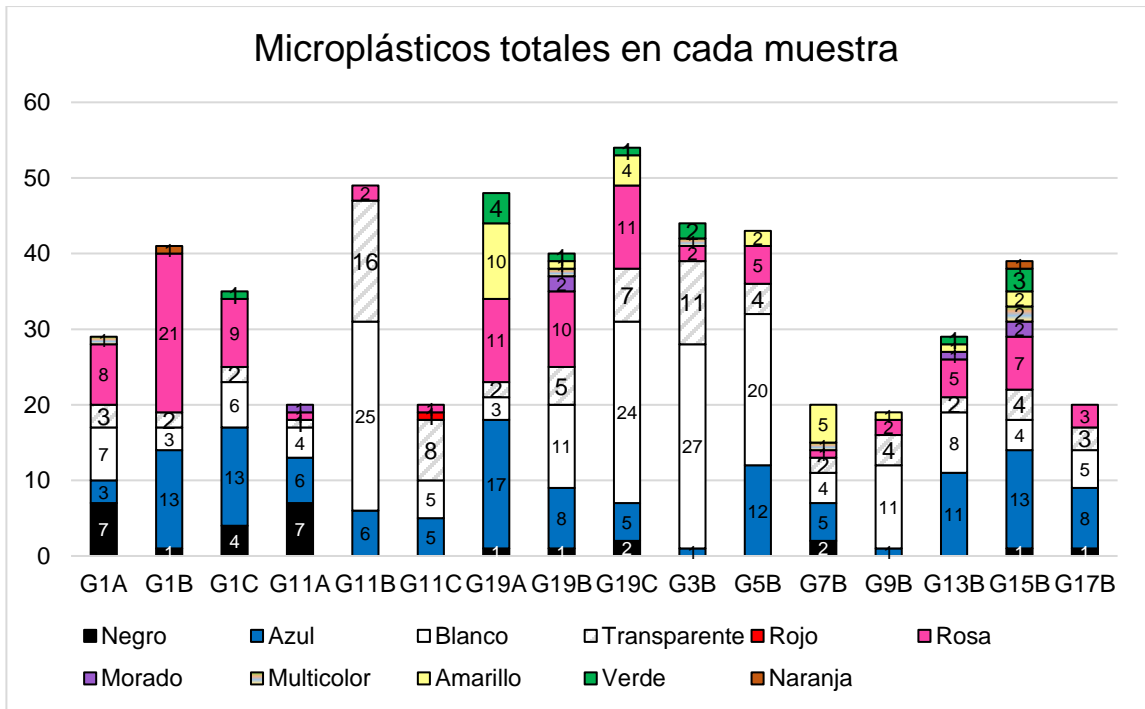


Figura 18. Abundancia de microplásticos totales en cada muestra.

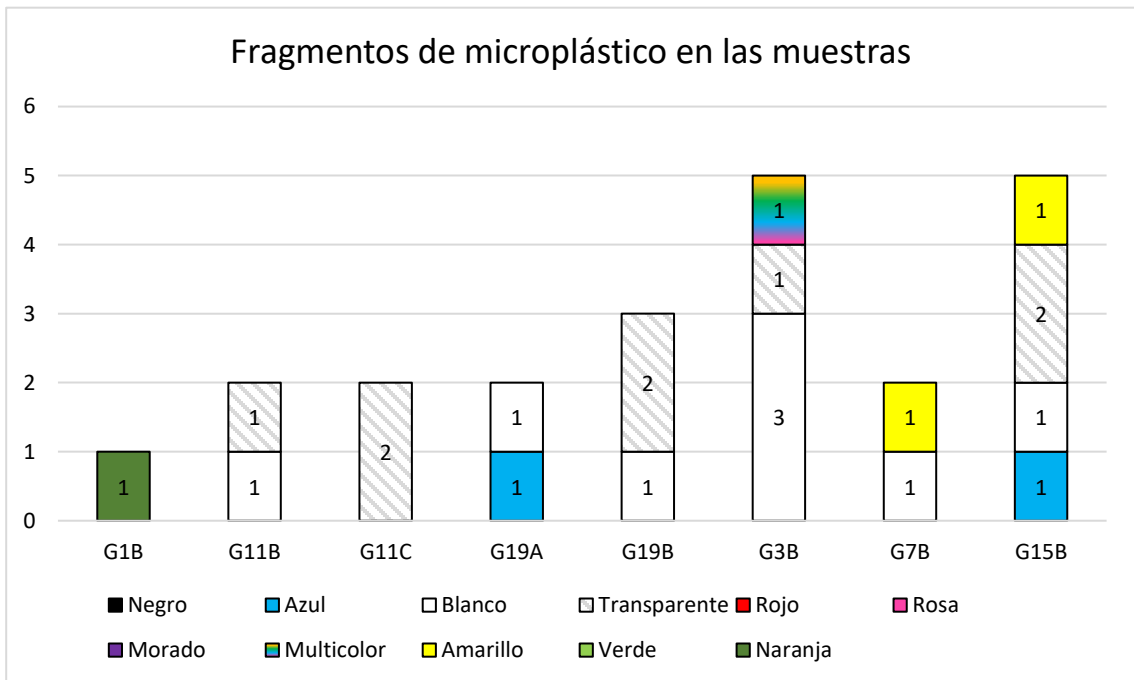


Figura 19. Fragmentos de microplástico totales en cada muestra.

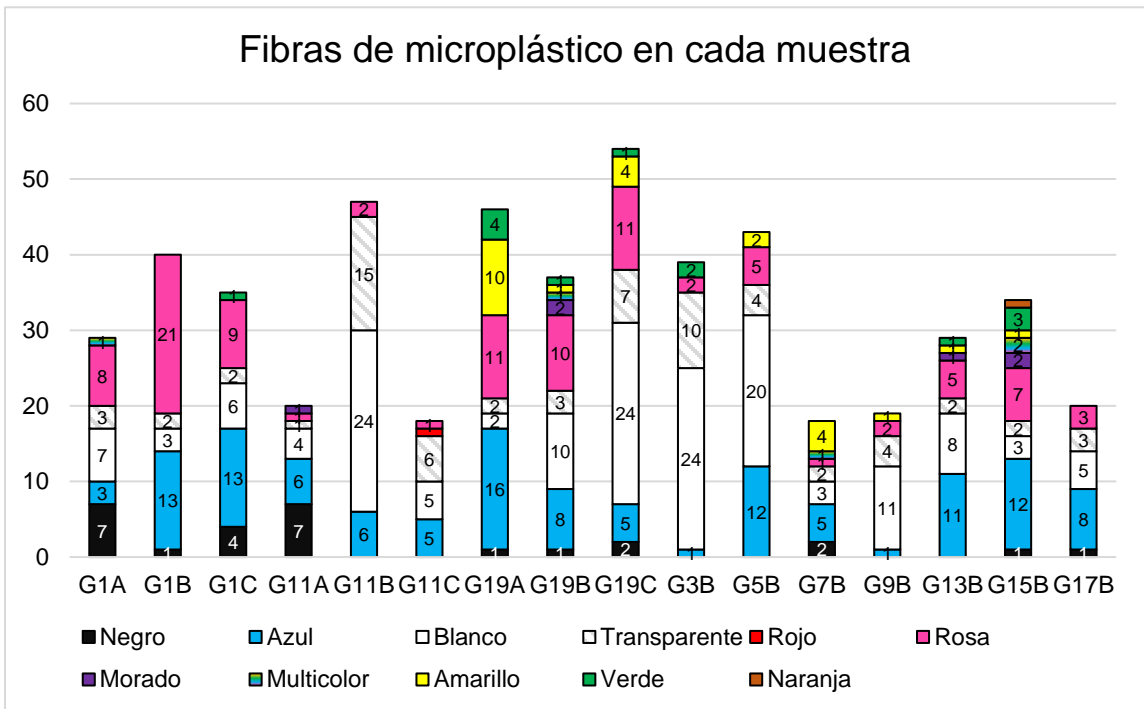


Figura 20. Fibras de microplástico en cada muestra.

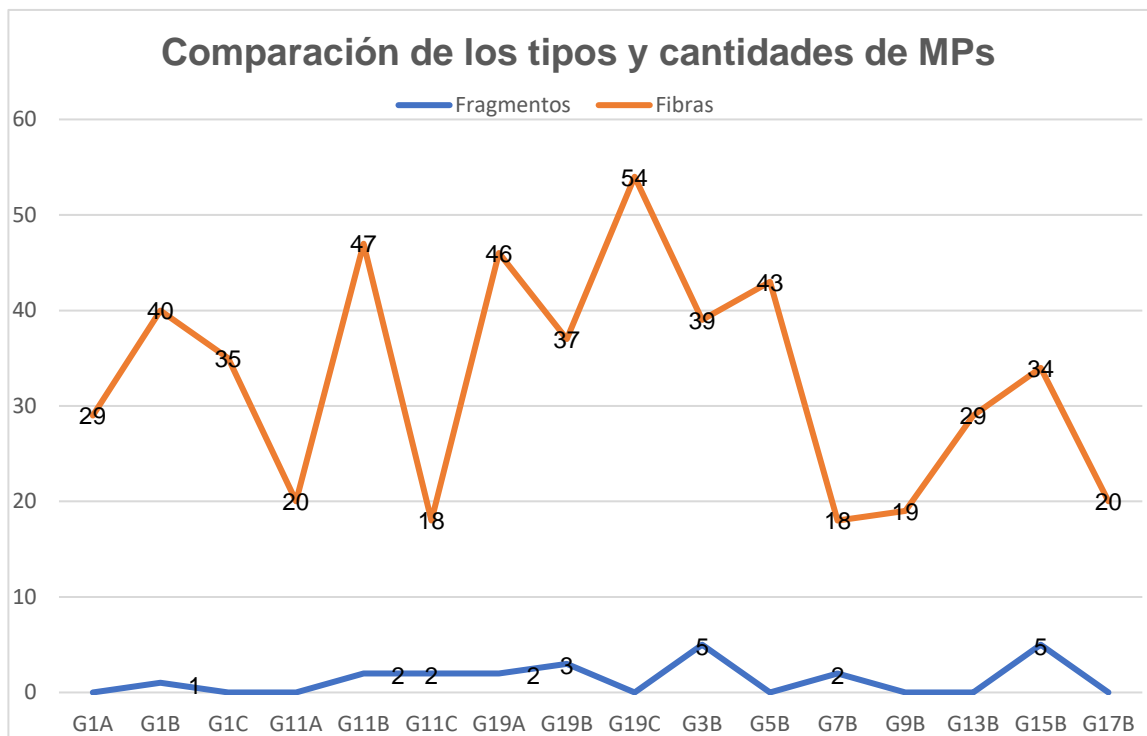


Figura 21. Comparación de los tipos y cantidades de fibras de microplástico con fragmentos.

En la Figura 18 se observa la abundancia de MPs de color blanco con 30.36%, además, de colores azul 23.09%, rosa 18.0%, transparente 13.82%, negro 4.61%, amarillo 4.73%, verde 2.36%, morado y multicolor 1.09%, naranja 0.36% y el más bajo el rojo 0.18% en comparación con el estudio realizado por Lots et al. (2017) donde menciona que el color de los MPs mas abundante en los sedimentos de las playas europeas es el negro y el azul, la actual investigación difiere en los resultados por la abundancia del color blanco, sin embargo, se concuerda con la abundancia de MPs en color azul.

En el presente estudio, se encontró un total de 550 MPs en su mayoría fibras, obteniendo 528 (Fig. 21), las cuales son una fuente importante de contaminación del medio marino, siendo causantes del aumento de residuos plásticos las tendencias de producción, los patrones de uso y cambios demográficos. Actualmente el agua de mar contiene numerosas micro y nano partículas plásticas (Andrady 2011; Alomar et al., 2016; Browne et al., 2011; De Falco et al., 2018; Van Cauwenberghe et. al., 2015).

Con base a la separación e identificación de los MPs se obtuvo en su mayoría de tipo fibras (Fig. 20) las cuales proceden del lavado de prendas de vestir manufacturadas con textiles sintéticos (poliéster principalmente), dichas partículas, ligeras y de escala milimétrica, además de transportarse a través del drenaje su procedencia podría indicar contaminación por aguas residuales debido a que las fibras tienden a degradarse con facilidad (Crawford & Quinn, 2017). De acuerdo Browne et al., (2011), la mayoría de las fibras plásticas son de poliéster o acrílico; una sola prenda de vestir en un solo ciclo de lavado puede desprender hasta 1,900 fibras, además se debe considerar agentes externos, por lo que se calculó que el número aproximado de microfibras liberadas en una carga típica de lavado de 5 kg de tejidos de poliéster es de más de 6.000.000 y está influenciado por el tipo detergente utilizado (De Falco et al., 2018).

Se fotografiaron algunas muestras de ejemplares de MPs de diferentes colores y muestras (Fig. 23-29) este análisis se realizó con un microscopio

estereoscópico marca ZEISS Discovery. V12 CL1500ECO acoplado con una cámara, mostrado en la Figura 22 a fin de distinguir microplástico por su colorimetría, los resultados fueron los siguientes:

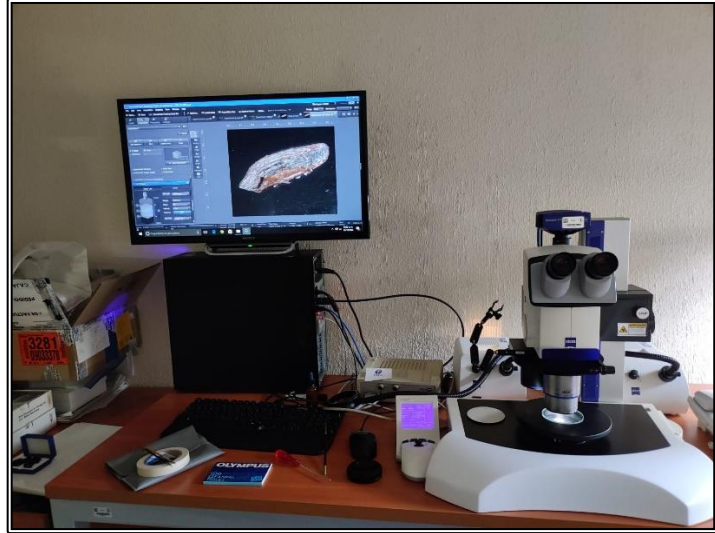


Figura 22. Microscopio estereográfico marca ZEISS Discovery. V12 CL1500ECO. Laboratorio del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.



Figura 23. Fibra de microplástico con coloración verdosa de la muestra G19C.



Figura 24. Fibra de Microplástico alargada color verde de la muestra G11A.



Figura 25. Fibra de microplástico tonalidad rosada correspondiente a la muestra G19C.

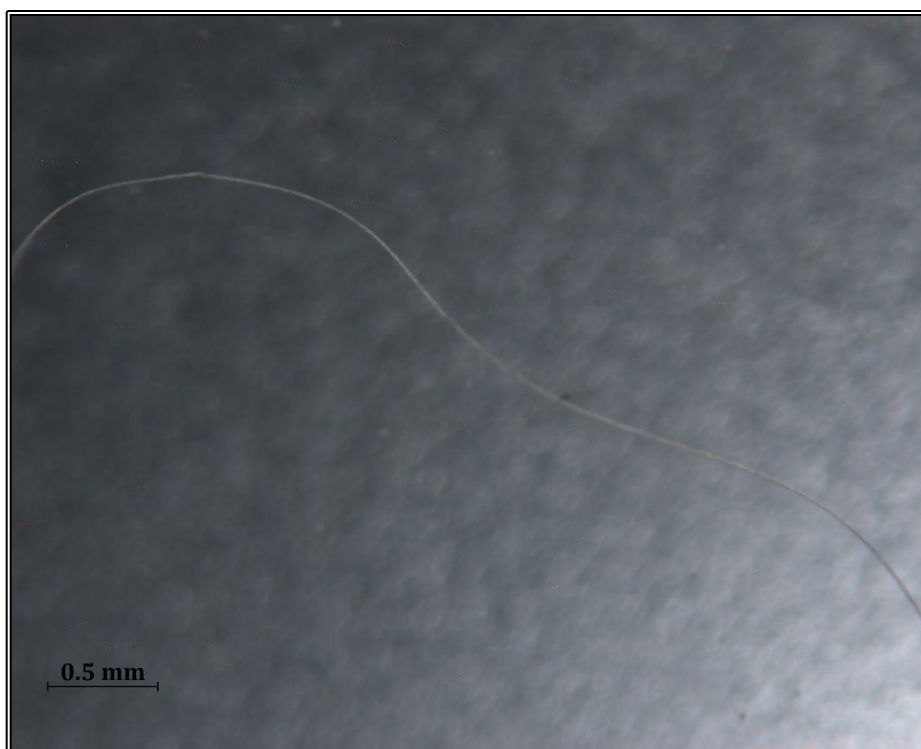


Figura 26. Fibra de microplástico tonalidad blanca de la muestra G19B.

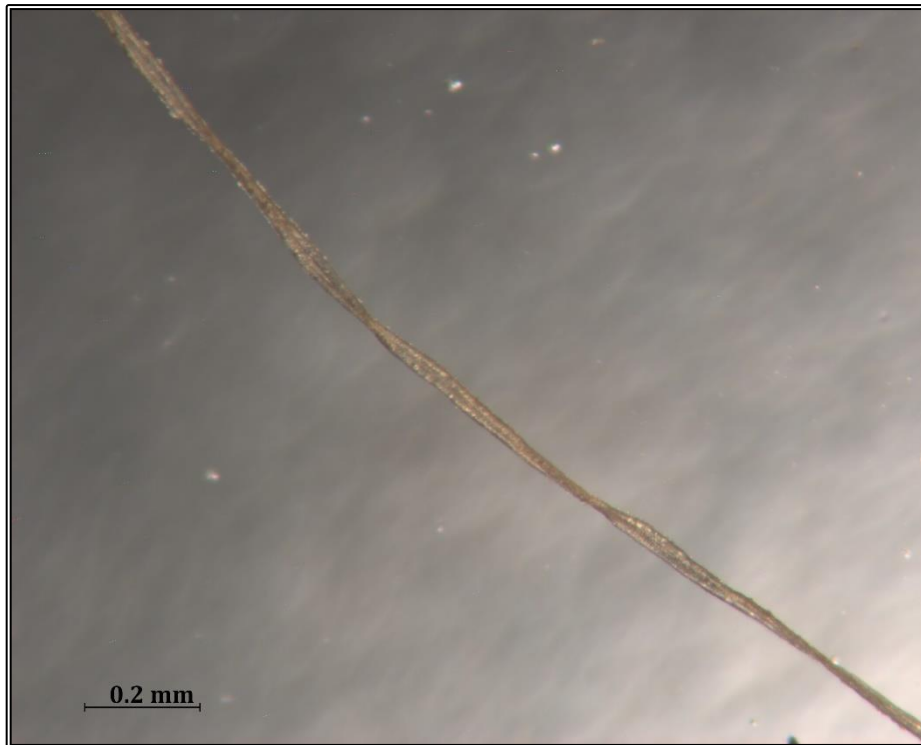


Figura 27. Fibra transparente de microplástico de la muestra G19 A mostrando un hábito tortuoso.

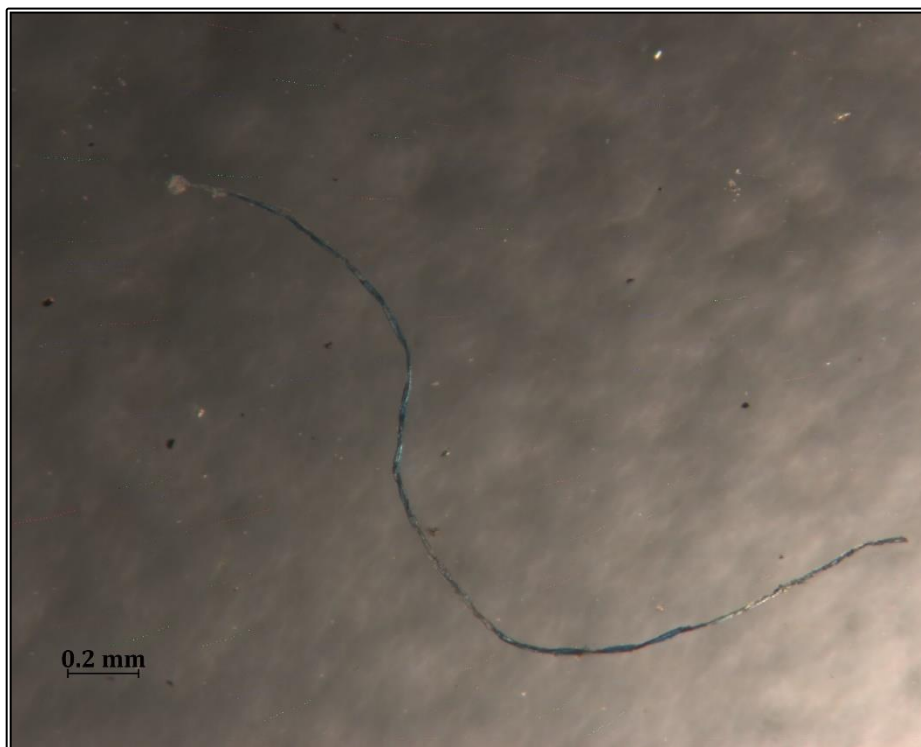


Figura 28. Fibra de microplástico con multicolor en la muestra G1C.

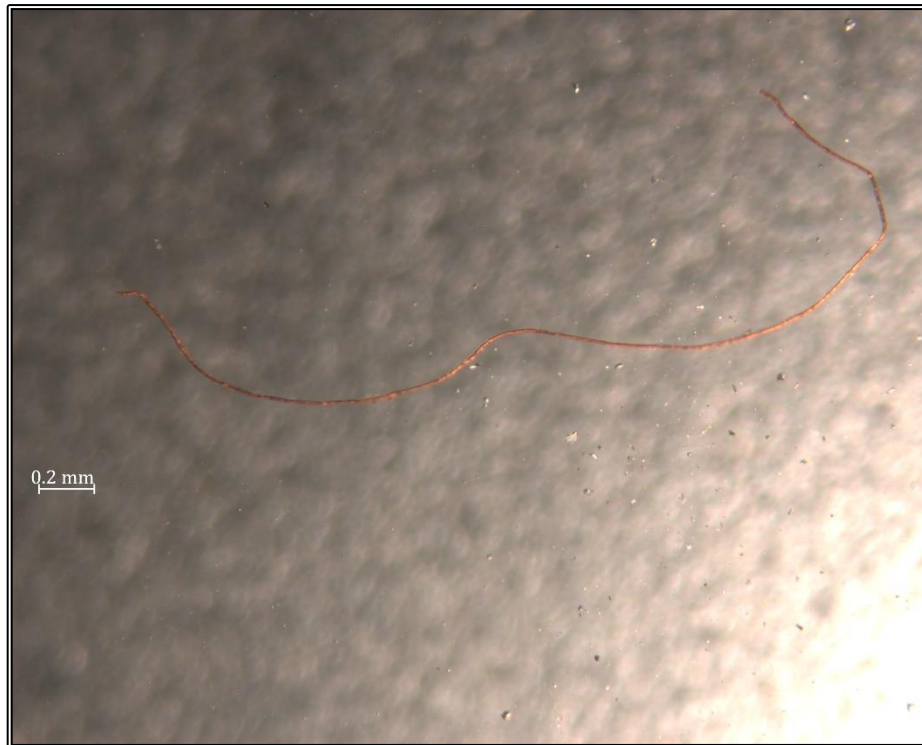


Figura 29. Fragmento de fibra de microplástico con coloraciones rojizas correspondientes a la muestra G19B.

En el presente estudio se obtuvo un total de 550 MPs en un total de 270g, extrapolando la relación a 1kg de muestra de arena el rango de microplásticos que podría encontrarse en los sedimentos de playa Guadalupe corresponde a 2,037 partículas. La clasificación de los microplásticos de acuerdo a su color hace posible inferir su procedencia, de acuerdo con Flores-Cortés & Armstrong-Altrin (2022), el color transparente se asocia a bolsas, envolturas o envases (Fig. 27).

Subsecuentemente, los MPs encontrados en su mayoría fueron azules obteniendo 127 MPs muestras de este color, para blanco mostrado en la Figura 26 un total de 167 MPs y rosa (Fig. 25) 99 MPs, es importante mencionar que en el contexto biológico el color cobra relevancia ya que algunos colores suelen ser más llamativos para los organismos y al confundirlos con alimento (arena o plancton) pueden ocasionarles daños fisiológicos o toxicológicos según el estudio realizado por Sanchez (2018), donde menciona que en 155 peces se

encontraron 882 MPs, estimando que cada organismo consumió 4.72 piezas de MPs.

Tabla 12. Comparación de la abundancia de microplásticos en sedimentos de playa Guadalupe con estudios reportados en otras partes del mundo.

País	Ciudad	Tipo de muestra	Concentración MPs/kg	Referencia
Alemania	River Rhine	Sedimentos	4000	(Klein, Worch, & Knepper, 2015)
Italia	Venecia	Sedimentos	2175	(Vianello et al., 2013)
Iran	Bostanu	Sedimentos de playa	1258	(Naji et al., 2017)
México	Veracruz	Sedimentos de playa	2037	Presente studio
USA	Cleveland	Sedimentos	5019	(Wilkins et al., 2020)

La comparación de la tabla 12 sugiere que el número de MPs encontrados en sedimentos de playa Guadalupe es menor a la reportada en Alemania, y USA, sin embargo, la cantidad de MPs encontrados en Venecia, Italia se asemeja con playa Guadalupe, Veracruz México, no obstante, en Irán es menor la cantidad de MPs reportados.

Los microplásticos ejercen un impacto significativo tanto en el medio ambiente como en la salud humana. La presencia de microplásticos constituye una forma extendida de contaminación ambiental que impacta tanto los ecosistemas terrestres como acuáticos. La comprensión de la distribución, la composición, el transporte y los efectos de los microplásticos en el medio ambiente resulta fundamental para mitigar su impacto y salvaguardar la salud de los ecosistemas y la vida silvestre.

6.3 Predominancia del tipo de microplástico y su posible relación con los parámetros texturales

Los sedimentos gruesos usualmente se encuentran más lejanos de la costa debido a que son más pesados para ser transportados, en cambio, en los sedimentos de arenas finas de playa Guadalupe tienden a depositarse en las líneas de costa, ya que se presentan ligeros. Tanto los sedimentos finos como los microplásticos pueden ser transportados por las corrientes marinas a distancias largas, sin embargo, tienden a depositarse en áreas de menor energía, donde las corrientes son más lentas. La deposición de ambos tipos de partículas puede estar influenciada por una variedad de factores físicos y ambientales, aunado a lo anterior, los MPs secundarios podrían predominar en los tipos de arenas finas, como se expone en el presente estudio en playa Guadalupe debido a que los sedimentos al igual que los microplásticos secundarios sufren procesos como la acción mecánica de las olas, originando MPs secundarios y caracterizando las arenas finas por su tamaño. Los MPs tipo fibras encontrados en el presente estudio se concentran dentro de los clastos más finos por ejemplo las arenas finas, limos y arcillas, afirmando así que la concentración de MPs es inversamente proporcional al tamaño de grano de los sedimentos, los estudios realizados por Browne et al., (2011) y Alomar, Estarellas, & Deudero (2016) afirman que tamaños de partículas sedimentarias más finas, aumenta la concentración de los microplásticos en el medio ambiente marino.

En la Figura 30 se muestran las fibras y los fragmentos proyectados en el mismo cuadrante, relacionados entre sí como factores con similitudes más presentes que la curtosis (KG), proponiendo en el presente estudio a la oblicuidad como el factor para la determinación de los microplásticos, debido a que el grado de asimetría es el signo que parece ser el diferenciador más poderoso de ambientes de depósito de los sistemas fluviales (Awasthi, 1970), confirmando lo expuesto en el estudio realizado por Flores Cortes, (2021) donde considera que la oblicuidad podría ser un parámetro importante para la

determinación de la concentración de MPs en los sedimentos costeros, relacionando que las fibras son provenientes del lavado y el desgaste de las telas la relación se ve reflejada por el tipo de depósito que ambos tuvieron. El tamaño de grano de los sedimentos en 15 de las muestras de esta playa es arena fina, y su clasificación es bien sorteada, siendo posible de relacionar con la predominancia de fibras como tipo de microplástico abundante en la playa Guadalupe, Veracruz, dado a que existe una alta probabilidad de que los sedimentos y los MPs sean transportados bajo condiciones similares a las aguas costeras. Por lo que los MPs que se concentran dentro del sedimento reflejan los procesos de transporte y acumulación (Rangel-Buitrago et al., 2022).

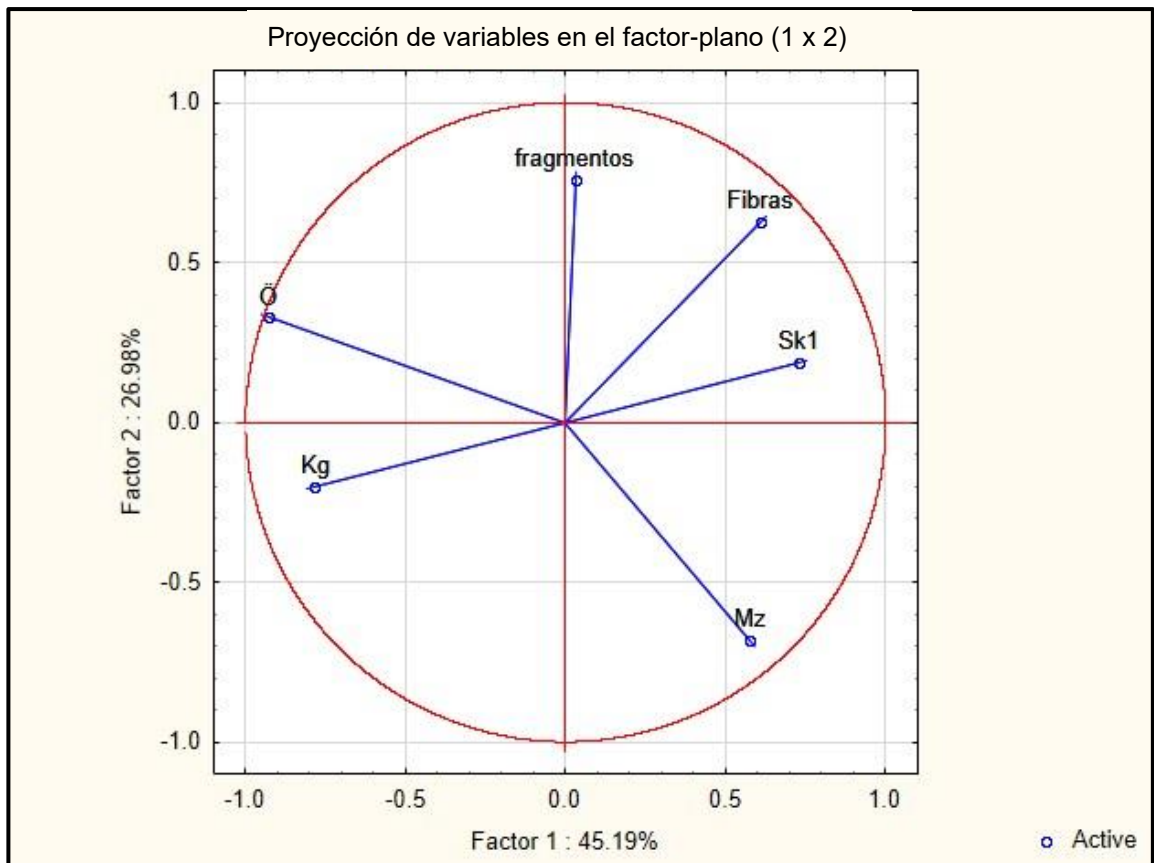


Figura 30. Proyección de las variables sobre el plano principal de los parámetros texturales y el tipo de microplástico.

6.4 Microscopía Electrónica de Barrido (Scanning Electron Microscope SEM)

Se obtuvieron las micrografías de las fibras de 8 de las 20 muestras de microplásticos (Fig. 31-48).

Para este análisis se utilizaron diferentes aumentos con la finalidad de analizar con exactitud y precisión algún rasgo característico del microplástico que pudiera darnos alguna peculiaridad superficial indicativa de la microtextura que presenta, de los materiales que lo componen y/o del intemperismo que pudo haber sufrido.

La nomenclatura de las imágenes depende del tipo de muestra de arena del que se extrajeron los MPs por ejemplo G1A, G5B, G17B, seguido del número de la toma de la fotografía que corresponde al microplástico (1, 2, 3...) y el sufijo a, b, c... si se hizo un aumento en el mismo microplástico.

Las micrografías obtenidas mediante SEM permiten la observación de las texturas, las características que presentan dependen de además del tipo de material que las compone de los procesos por a los que han sido expuestos. La mayoría de los MPs presentan una textura corrugada, indicando deterioro o fragmentación, esta característica identificada en su textura es debido a la degradación y a la meteorización (Biber et al., 2019; Napper & Thompson, 2020; Noventa et al., 2021).

Las imágenes obtenidas fueron las siguientes:

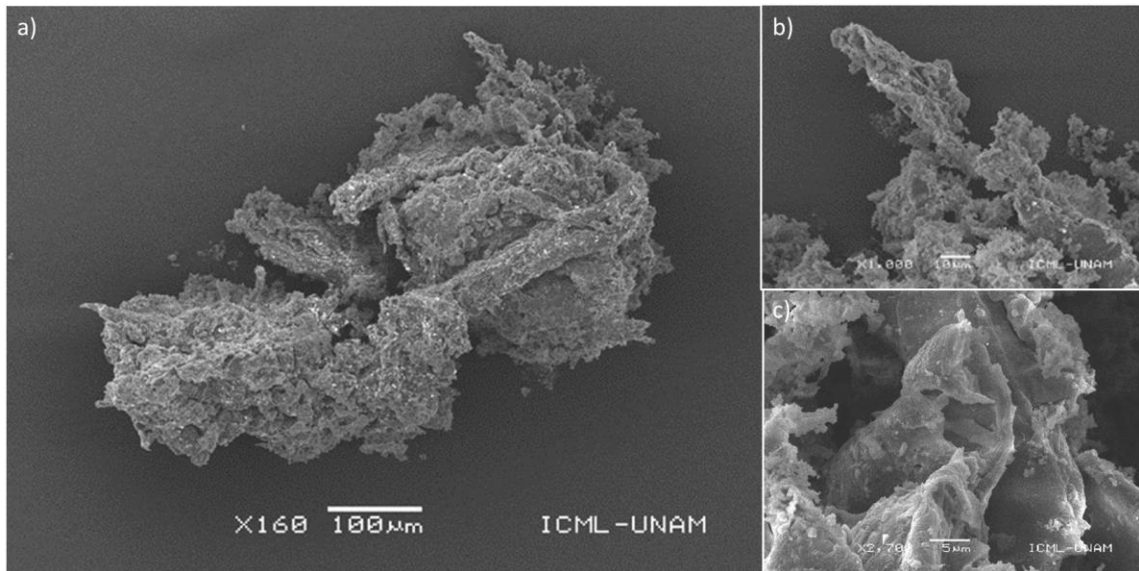


Figura 31. Micrografías SEM a-c) de un fragmento de forma y tamaño irregular de microplástico de la muestra G3B, mostrando en su superficie una textura no uniforme, agrietada y con fracturas profundas que ha sido expuesta a procesos como degradación.

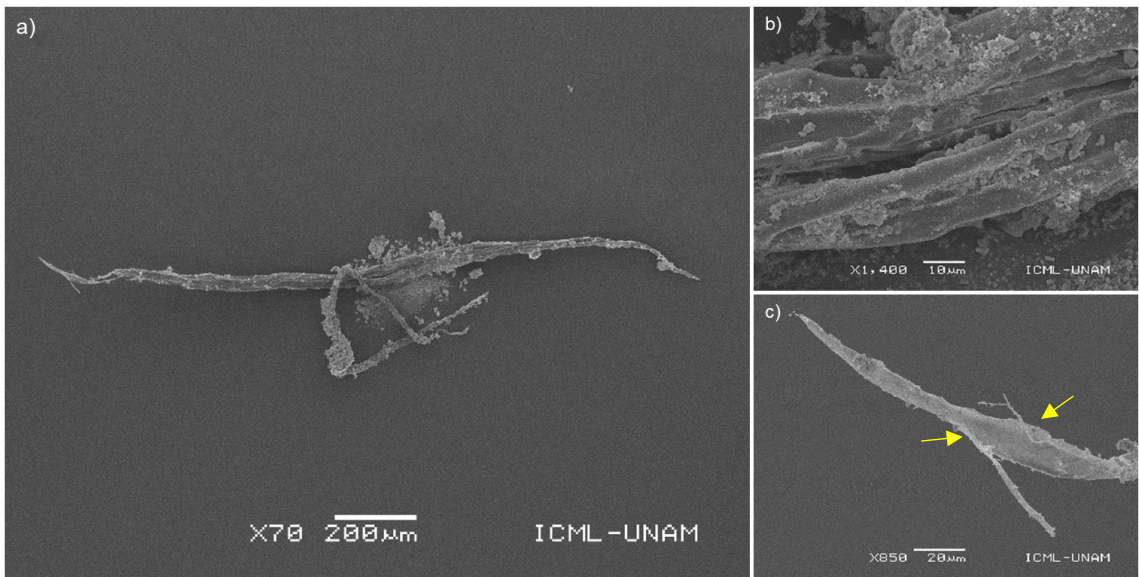


Figura 32. Micrografía SEM a) de una fibra de microplástico de la muestra G3B mostrándose tortuosa, e irregular. b) superficie del microplástico con fracturas degradadas y adherencias c) Fibra que evidencia meteorización oxidativa por los agujeros y fracturas.

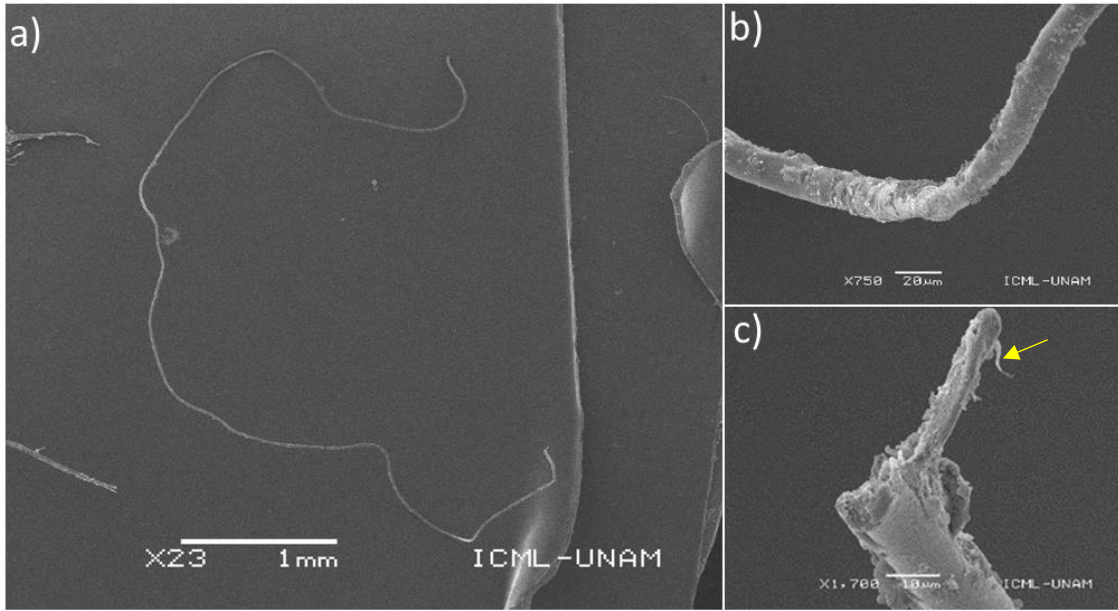


Figura 33. Micrografía SEM a) de una fibra de microplástico de la muestra G3B3 de mayor tamaño, no se presenta con fracturas en el cuerpo de la partícula. b) superficie del microplástico con degradación en su textura c) punta de la fibra dañada observándose con fractura debido a la degradación y al impacto de colisión.

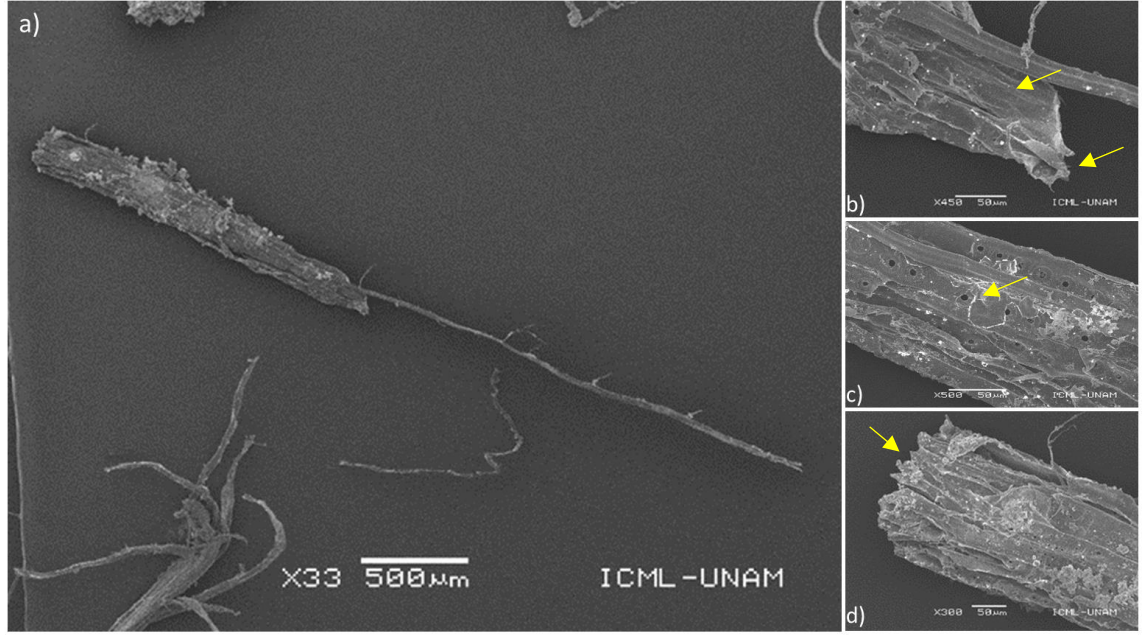


Figura 34. Micrografía SEM de a) una fibra de microplástico de la muestra G3B4. b) fibra escamosa con degradación, grietas y fracturas profundas b) agujeros profundos en la superficie del microplástico causados por disoluciones más grietas d) fracturas y grietas en la superficie del microplástico, no se presenta una textura uniforme evidencia de meteorización oxidativa.

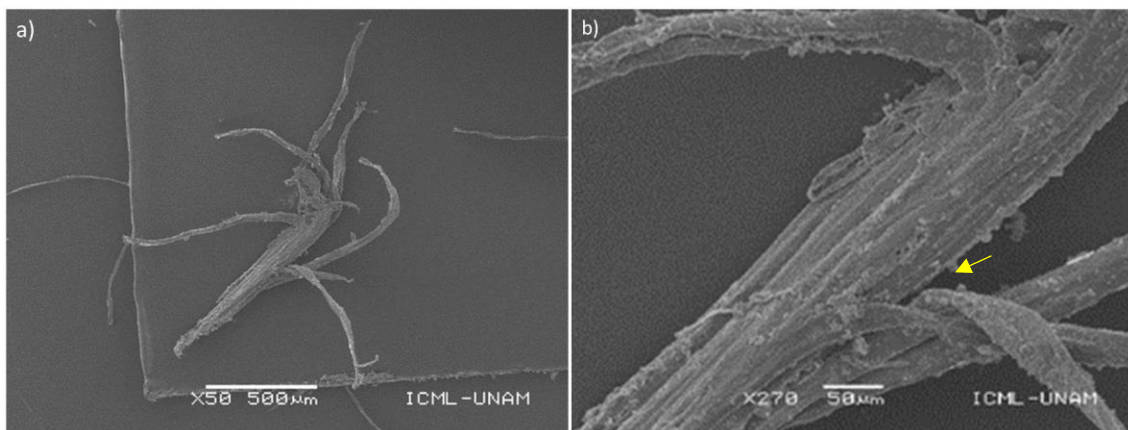


Figura 35. Micrografía SEM a) fibra de microplástico muestra G3B5 con fracturas, b) deshilada desde la parte media del cuerpo de la partícula que evidencia degradación y meteorización oxidativa más desgaste.

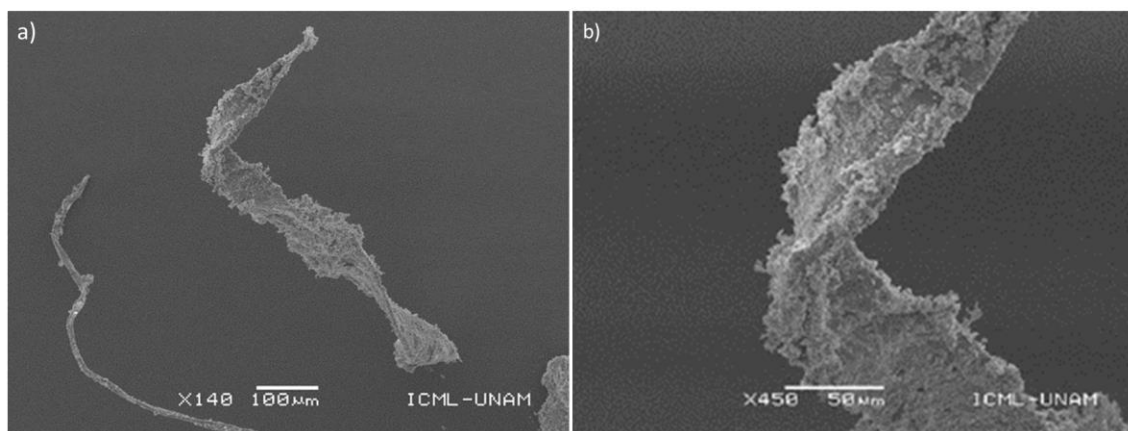


Figura 36. Micrografía SEM a) fragmento de microplástico muestra G3B6 que presenta textura superficial con desgaste b) microplástico presentando un hábito tortuoso con textura no uniforme.

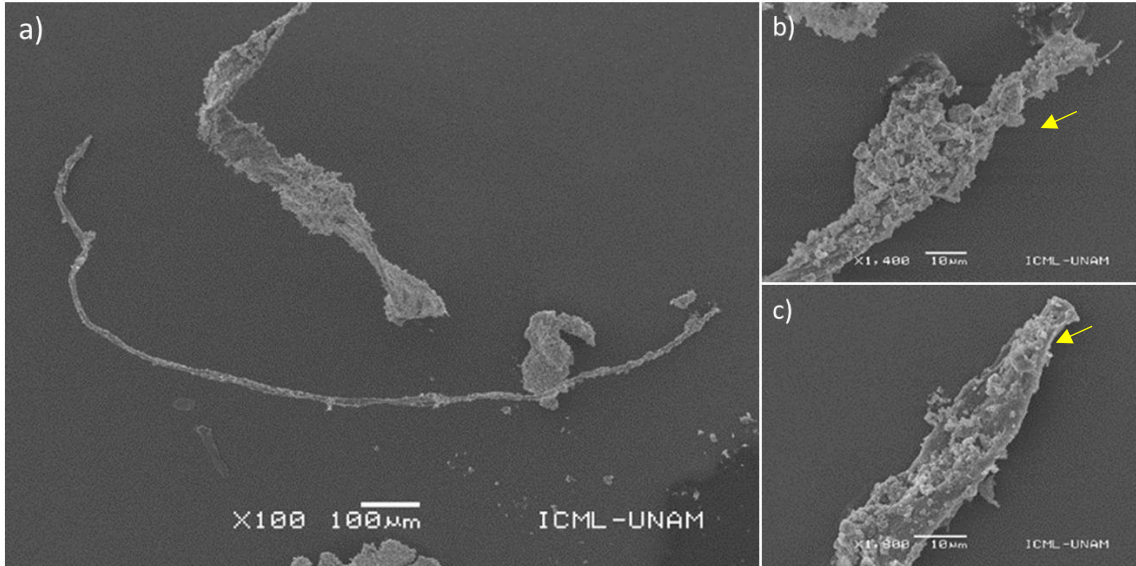


Figura 37. Micrografía SEM a) fibra de microplástico G7B de tamaño considerable donde se puede apreciar que no presenta una textura uniforme b) partículas añadidas al microplástico en el vértice donde se observan fracturas.

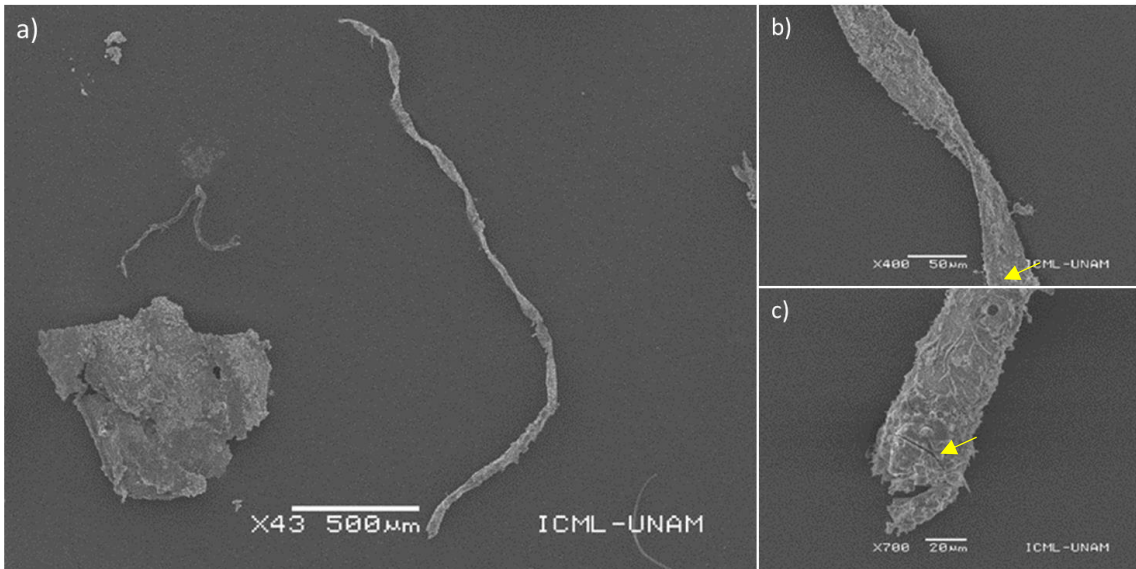


Figura 38. Micrografía SEM a) fibra de microplástico muestra G9B1 que evidencia desgaste en su superficie, b) porción de microplástico donde se ve un hábito tortuoso c) agujeros causados por soluciones, degradación y daño debido al impacto y a la degradación.

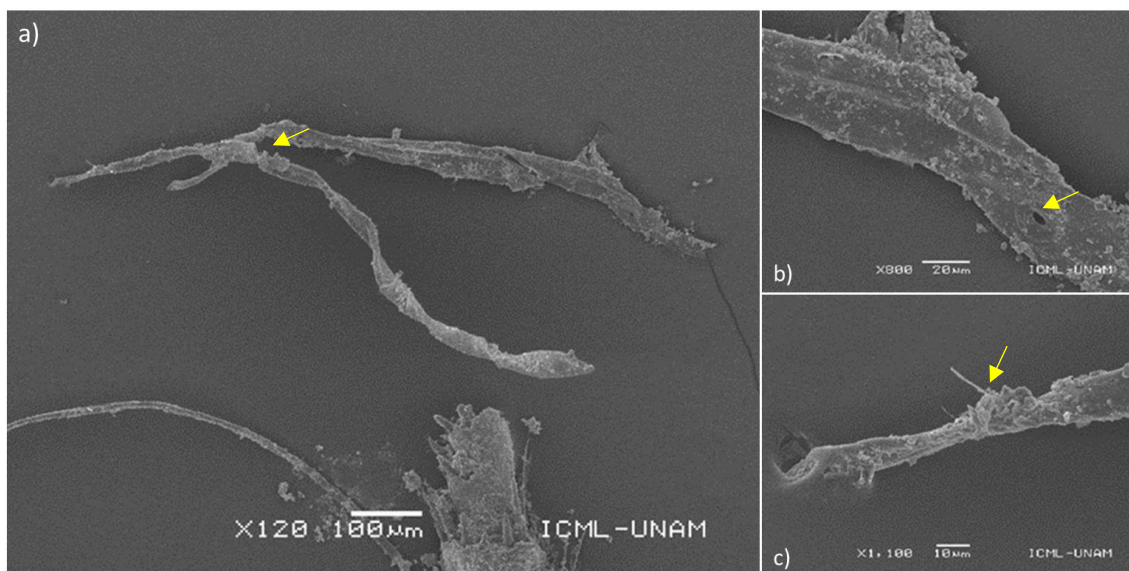


Figura 39. Micrografía SEM a) fibra de microplástico que ha sufrido desgaste evidenciada por el rompimiento de la fibra en dos secciones b) agujeros profundos presentes en el microplástico donde se observa la textura no uniforme. c) fibra de microplástico con desprendimiento de la misma textura.

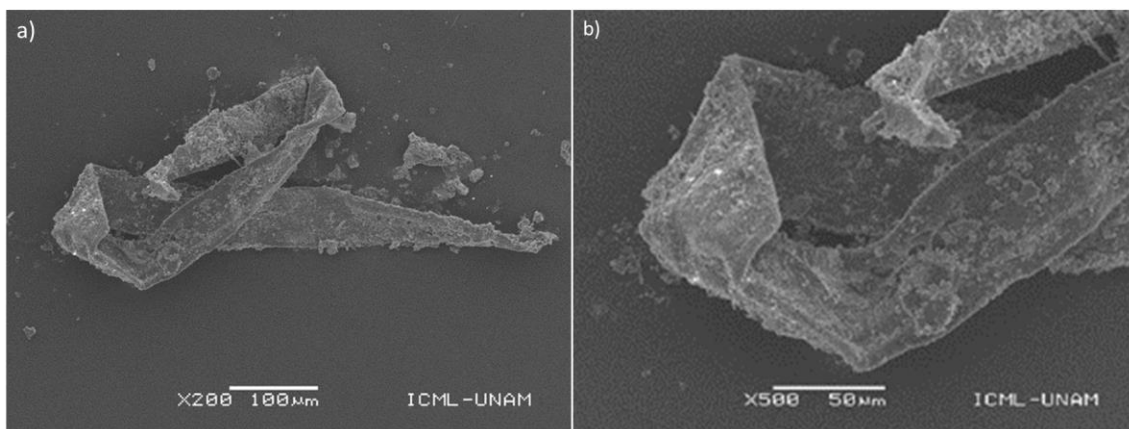


Figura 40. Micrografía SEM a) fragmento de microplástico de la muestra G15B2 agrietado, con un hábito tortuoso, sin una dirección lineal que evidencia desgaste b) nódulo de microplástico con pliegues.

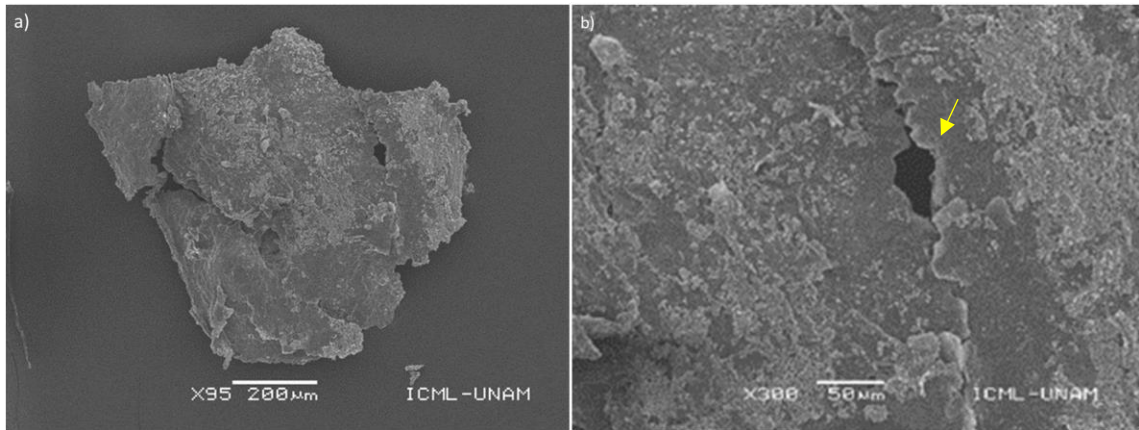


Figura 41. Micrografía SEM a) fragmento de microplástico de la muestra G15B3 que ha sufrido desgaste, no presenta una textura uniforme sino corrugada y áspera, se observa agrietado b) agujero profundo causado por soluciones y desgaste en la superficie.

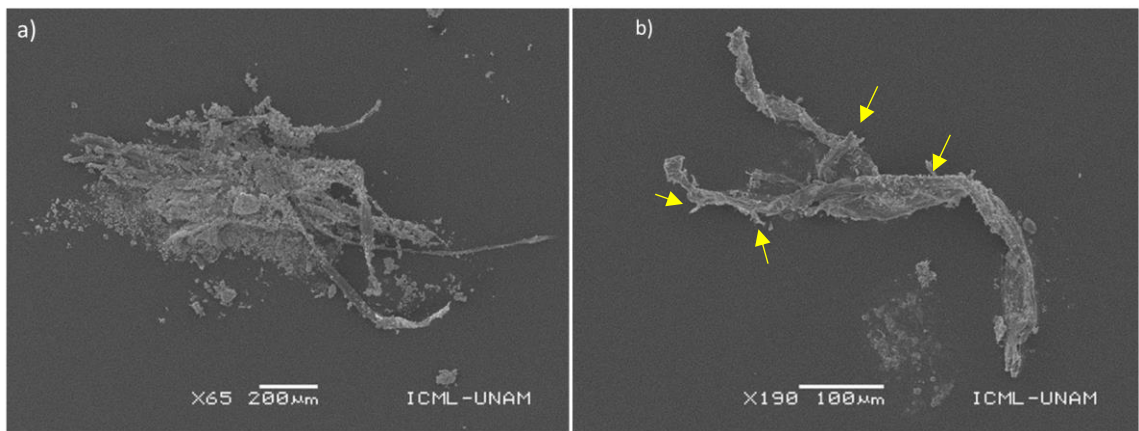


Figura 42. Micrografía SEM a) fibras de microplástico de la muestra G19B1 que evidencia desgaste debido a la unión de varias fibras fragmentadas b) fibra de microplástico de la muestra G19B2 mostrando una textura no uniforme, con fracturas en los extremos producto de meteorización oxidativa y desgaste.

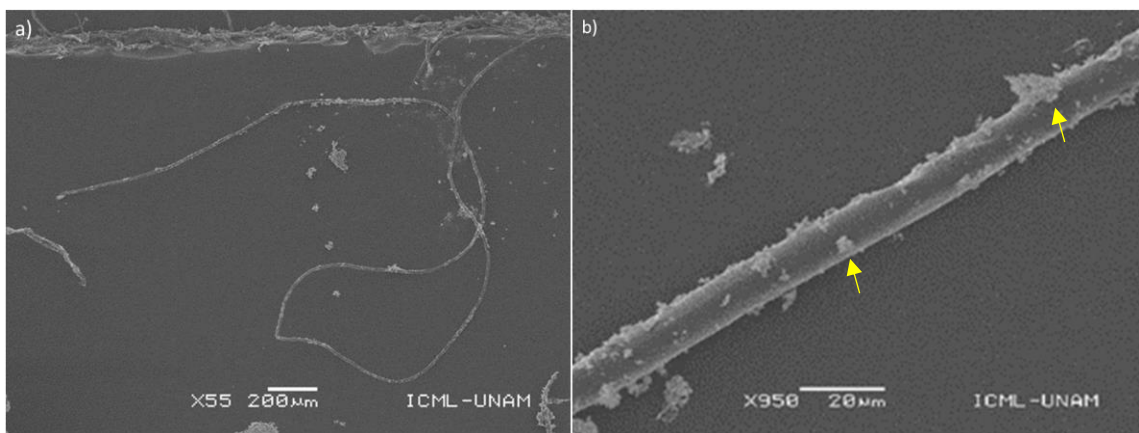


Figura 43. Micrografía SEM de un a) una fibra de microplástico muestra G19A1 de tamaño considerable, no se presenta agrietada b) partículas añadidas al microplástico donde se presenta una textura uniforme y lisa.

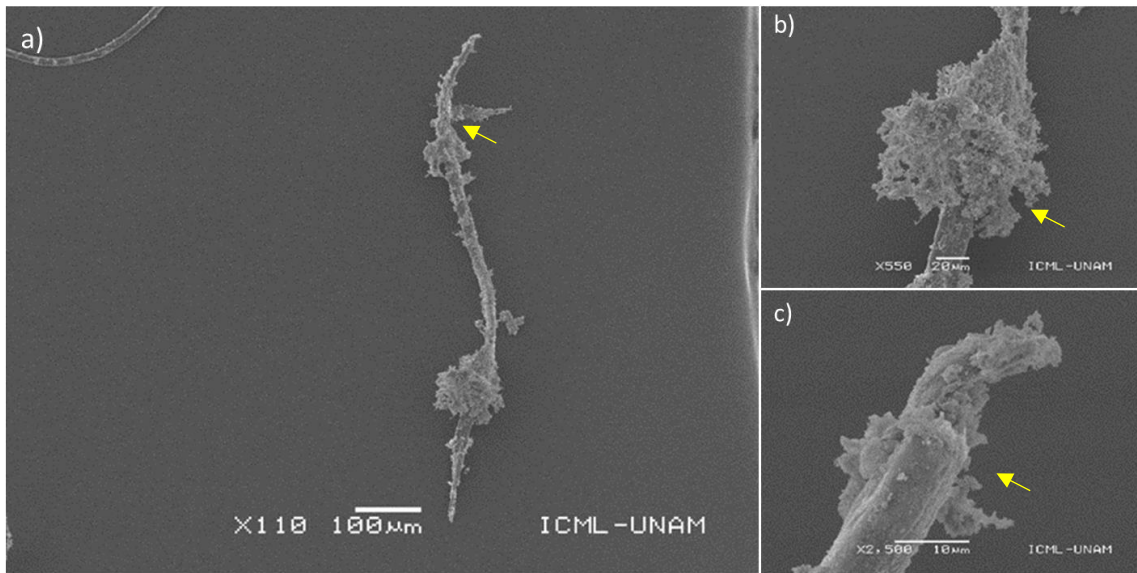


Figura 44. Micrografía SEM a) fibra de microplástico de la muestra G19A2 con partículas añadidas y desgaste la muestra presenta una ondulación en donde se observan la mayor cantidad de partículas añadidas b) Partículas añadidas al microplástico c) Vértice de la muestra fracturado con partículas añadidas, textura ligeramente corrugada.

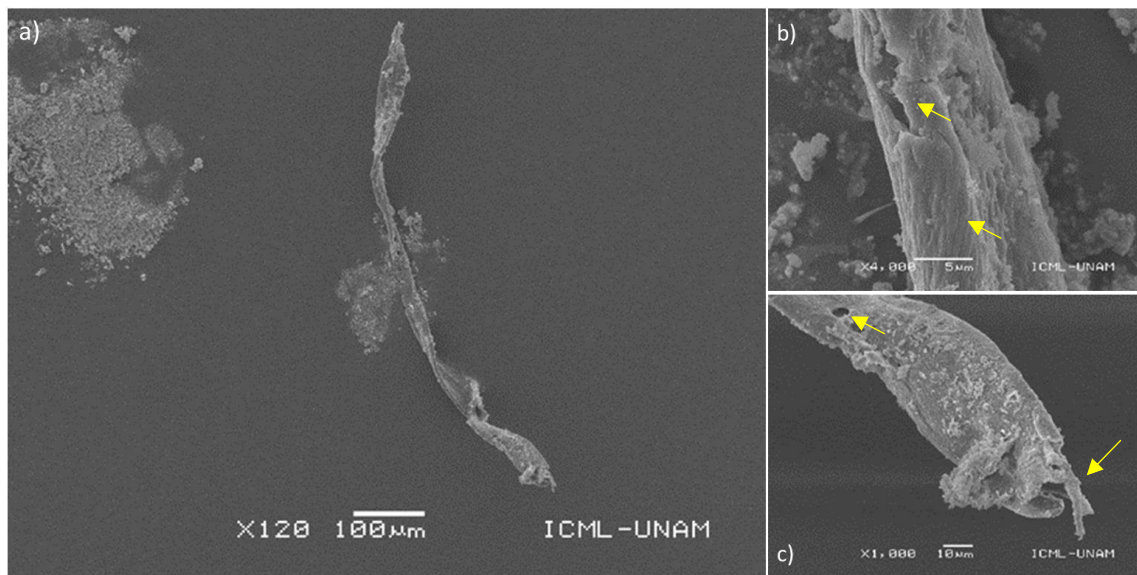


Figura 45. Micrografía SEM a) una fibra de microplástico de la muestra G11B1 que ha sufrido desgaste, se presenta con un hábito tortuoso de extremo a final b) textura superficial fracturada por impacto en la colisión, textura superficial de fibra escamosa, degradada y agrietada c) desgaste con un agujero causado por soluciones, ápice de la fibra con fracturas.

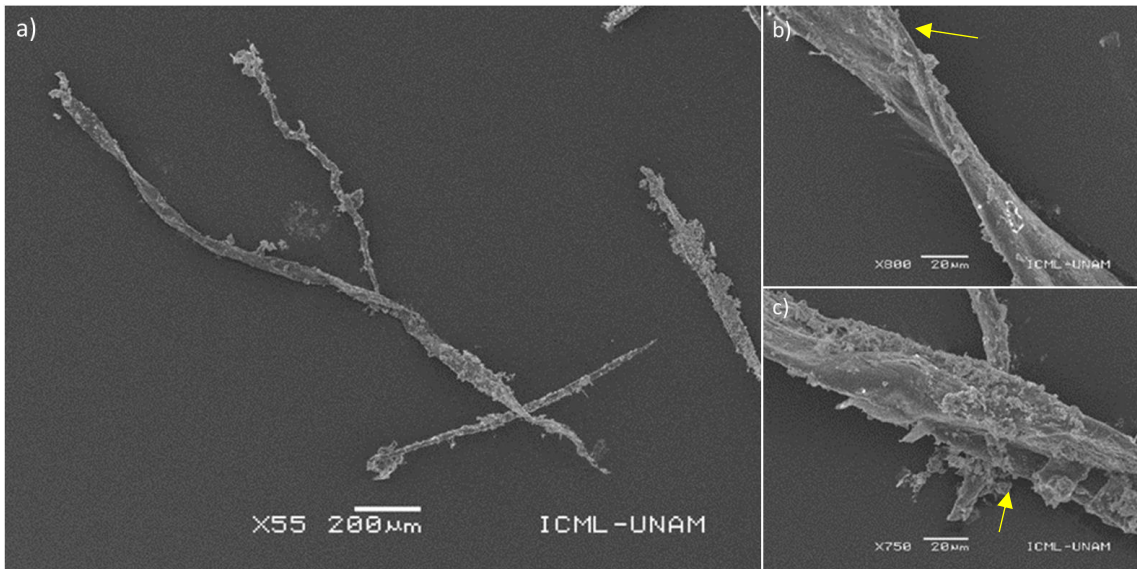


Figura 46. Micrografía SEM a) fibra de microplástico de la muestra G11B2 presentando desgaste, en el cuerpo medio de la partícula se observa un agrietamiento lo que causa dos fibras producto de un único ejemplar las cuales presentan un hábito tortuoso y partículas añadidas b) hábito tortuoso de una porción de la fibra con partículas añadidas, no presenta una textura superficial lisa c) fracción de microplástico donde se observa una textura corrugada con fracturas.

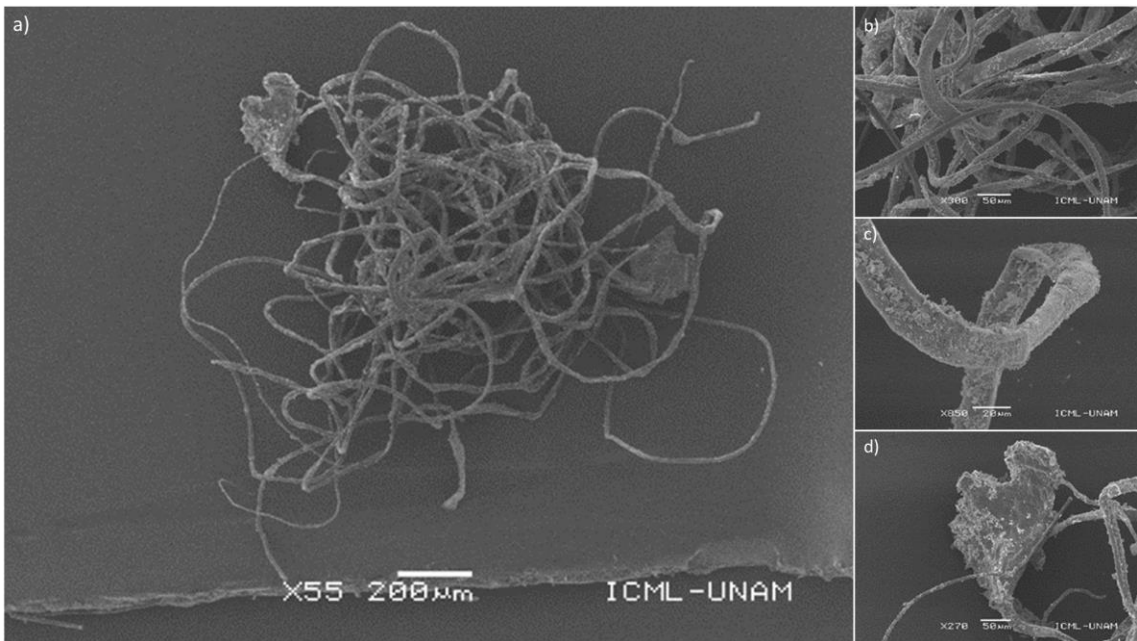


Figura 47. Micrografía SEM a) diversas fibras de microplástico de la muestra G11C1 entrelazadas y b) fibras de MP con texturas no uniformes y partículas añadidas c) textura de una porción de microplástico degradada no uniforme c) partículas añadidas de una fibra de microplástico con mayor tamaño al resto del cuerpo de la partícula.

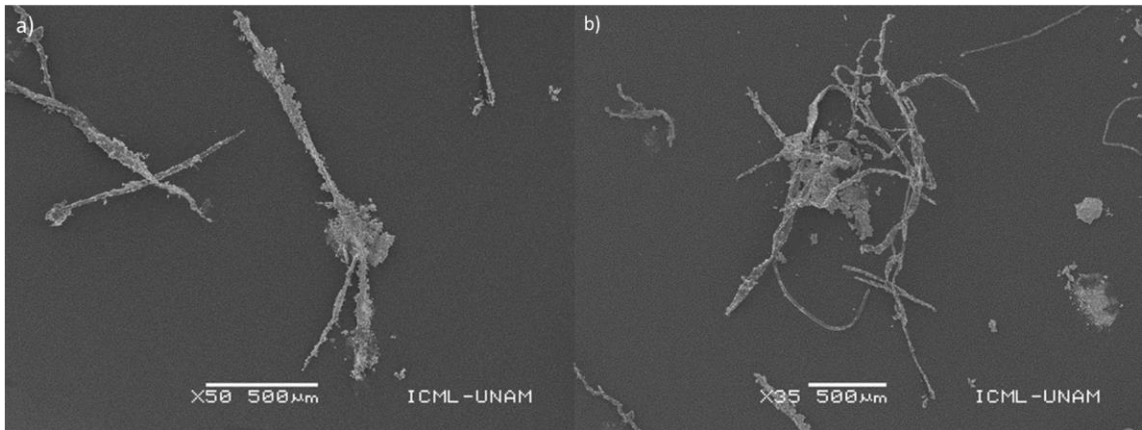


Figura 48. Micrografía SEM a) fibra de microplástico con rotura entre dos fibras en la parte inferior de la partícula, con hábito tortuoso y partículas añadidas b) varias fibras de microplástico entrelazadas con hábitos tortuosos, roturas entre las partículas y texturas no uniformes.

Las Figuras 31-48 de los MPs examinados bajo SEM muestran que los MPs han estado expuestos a factores de degradación y de erosión mecánica debido a la acción de arrastre y de meteorización química, estos procesos se muestran en su textura, presentándose corrugadas, ásperas, con fisuras, segmentadas, no uniformes en su tamaño, etcétera. De acuerdo con Wang et al., (2017), las fracturas, escamas y partículas adheridas son patrones de degradación comunes y se atribuyen a la acción mecánica de las olas y el transporte de la arena.

Con las micrografías obtenidas mediante SEM donde algunas muestras de MPs se muestran fragmentadas, y acorde a las investigaciones de Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023) y lo propuesto por Manzoor (2022), las texturas más profundas, la fragmentación y roturas de fibras en su superficie indican que los MPs sufrieron deterioro durante el transporte, y con ello es posible reducir su tamaño hasta convertirse en nanoplasticos, haciéndolos más susceptibles a sufrir alteraciones debido a la radiación solar, disolución, abrasión o colisión-oxidación, salinidad y a ser deteriorados durante el transporte por procesos degradantes.

Las Figuras 31-32, 34-36, 39-41, 43-47 en las cuales los MPs presentan fisuras, hábitos tortuosos, texturas segmentadas y escamosas, son características

semejantes a las estudiadas por Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023), concluyendo que el depósito de las partículas de MPs es influenciado por las corrientes oceánicas superficiales, por consiguiente el ambiente de alta energía en playa Guadalupe propicia a que los MPs no presenten una textura superficial uniforme además de influir en el depósito de estos.

Así mismo en el presente estudio, las Figuras 32-34, 38-41, 45 presentan orificios y desprendimientos, según Mao et. al., (2020) los agujeros de disolución y la descamación derivan de la meteorización oxidativa, por lo que ambos tipos de degradación se deben a la disolución de pigmentos altamente concentrados, aditivos y antioxidantes, además la alta salinidad, la oxigenación y los cambios de pH provocan un aumento en las reacciones de oxidación en los microplásticos, sin embargo, la erosión oxidativa, proceso del cual derivan otras características de la textura como las grietas sugiere además de los agentes a los que han estado expuestos, el envejecimiento del polímero (Wang et al., 2018).

La principal morfología de degradación exhibida por la mayoría de los MPs analizados bajo SEM fueron grietas y fracturas, esto es consistente debido a características como fragilidad, presentes en estas partículas provenientes de ambientes playeros. Los MPs de playa Guadalupe están expuestos directamente a la erosión oxidativa producto de factores como luz solar continua con altos niveles de intensidad realizada, salinidad del agua de mar y la temperatura del agua relativamente cálida debido a la proximidad al ecuador. Las grietas en las superficies de los MPs podrían dar lugar a un posible enriquecimiento de las concentraciones superficiales de contaminantes orgánicos persistentes (COP) (Wardrop et al., 2016), si bien, los MPs constituyen una fracción muy pequeña de las micro y nanopartículas presentes en el agua de mar, la propensión comprobada de los plásticos a adsorber y concentrar COP vuelve una preocupación aún más grave debido a la ingesta de organismos marinos.

6.5 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR).

En este estudio se identificaron las firmas espectrales de algunos MPs mediante la espectrometría infrarroja, la cual por cuestiones de equipo se obtuvo espectros que fueron comparados con la base de datos de las bibliotecas de referencia proporcionadas por el software OMNIC 7.2. Las fibras analizadas fueron de diferentes colores y los espectros obtenidos se contrastaron directamente (Fig. 49-50).

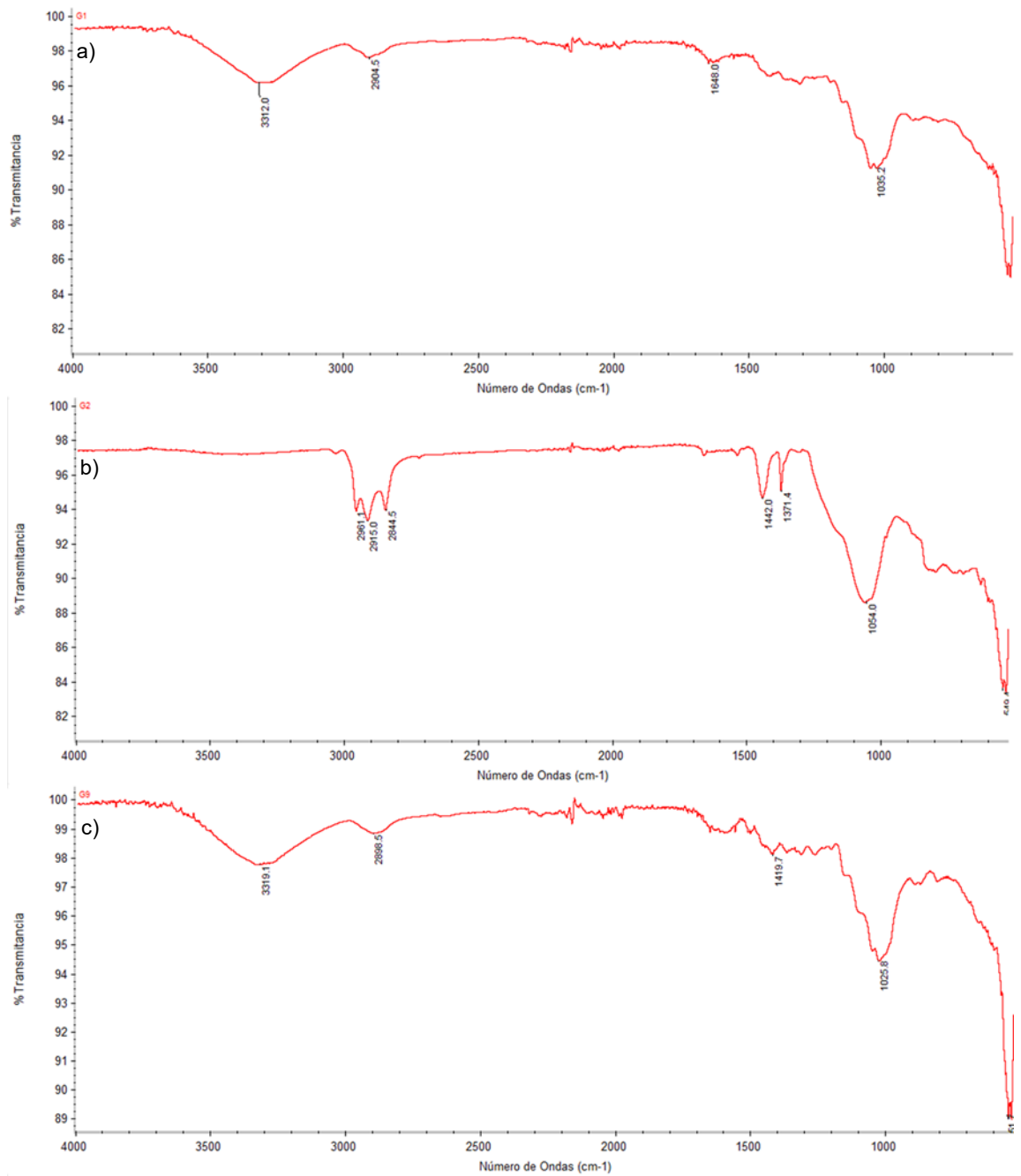


Figura 49. Espectros FTIR de fibras de microplástico de sedimentos de la playa Guadalupe. a) espectro de la muestra G1 b) espectro de la muestra G2 c) espectro de la muestra G3.

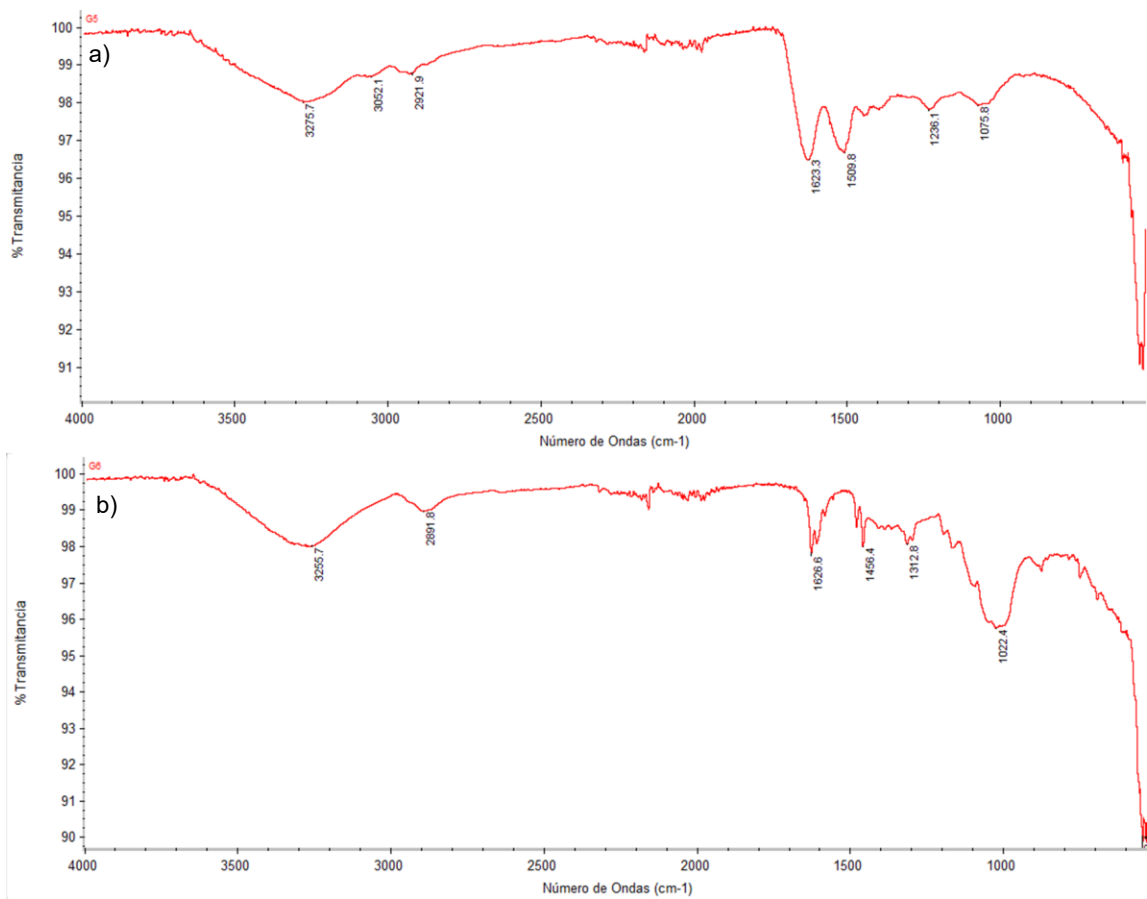


Figura 50. Espectros FTIR de fibras de microplástico de sedimentos de la playa Guadalupe. a) espectro de la muestra G4 b) espectro de la muestra G5.

En la Tabla 13 se obtuvieron las firmas espectrales por medio del análisis FTIR, de la Figura 50 a) G1, b) G2 y c) G3 y de la Figura 51 a) G4 y b) G5.

Tabla 13. Firmas espectrales de MPs de muestras G1, G2, G3, G4 y G5 analizadas bajo FT-IR.

G1	G2	G3	G4	G5
3312.0 cm ⁻¹	2961.0cm ⁻¹	3319.1 cm ⁻¹	3275.7 cm ⁻¹	3255.7 cm ⁻¹
2904.5 cm ⁻¹	2915.0cm ⁻¹	2898.5 cm ⁻¹	3052.1 cm ⁻¹	2891.8 cm ⁻¹
1648.0 cm ⁻¹	2844.5cm ⁻¹	1419.7 cm	2921.9 cm ⁻¹	1626.6 cm ⁻¹
1035.2 cm ⁻¹	1442.0 cm ⁻¹	1025.8 cm ⁻¹	1623.3 cm ⁻¹	1456.4cm ⁻¹
	1371.4cm ⁻¹		1509.8 cm ⁻¹	1312.8cm ⁻¹
	1054.0cm ⁻¹		1236.1 cm ⁻¹	1022.4cm ⁻¹
			1075.8 cm ⁻¹	

Las muestras de la Figura 49 a) con firma espectral en 1648.0 cm^{-1} , la figura 50 con valores en a) 1623.3 cm^{-1} y en b) 1626.6 cm^{-1} indican la presencia de grupos carbonilos (C=O) con los picos en la región cercana a 1700, además de comprobar por FTIR y las micrográficas SEM el análisis realizado por Wang et al., (2017) donde menciona que el intemperismo químico se confirma por los picos de absorción cercanos a 1715 cm^{-1} . Así mismo, la característica más clara en el pico de degradación es específicamente fotooxidación, causada por la radiación UV-B y el oxígeno atmosférico, que corresponde al grupo carbonilo (C=O) con valores de espectro de 1713 cm^{-1} (Zbyszewski & Hockin, 2014), por tanto, las muestras de MPs G1, G5, y G6 analizados bajo FT-IR se identificaron como fotooxidadas que han sufrido intemperismo químico resultado del tiempo de exposición o aditivos presentes en medio.

La muestra G1a de la Figura 49 se trata de una muestra de poliestireno (PS) por los picos de absorción mostrados en la tabla 7 y comparados con la tabla 13, con una diferencia mínima en los valores obtenidos. Esta partícula es de uso desechable en la vida cotidiana, y sus usos se atribuyen a características como bajo costo, rigidez, aislamiento. Se han encontrado en diversos medios como agua de río y agua de mar, en ejemplares de peces debido a su amplia gama de aplicaciones y enormes rendimientos (Lin et al., 2020). El valor 3312.0 cm^{-1} se encuentra dentro de la región característica del hidroxilo ($3750-3000\text{ cm}^{-1}$) podría atribuirse a la radiación UVA, la cual induce la degradación del MPs y aumenta con el oxígeno en el aire (Cai et al., 2018).

Para la muestra G2b Figura 49 por los valores de los picos comparados con la Tabla 7 indican que se trata de un polipropileno, dicho material tiende a adsorber contaminantes como plaguicidas con contenido de hexaclorociclohexano (HCH), dicloruro difenil tricloroetano (DDT), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y contaminantes orgánicos persistentes (COP), por consiguiente, estas partículas de MPs pueden transportar estos contaminantes a través de los océanos, contaminando ecosistemas, siendo ingeridos por los organismos (Cole et al., 2011) hasta siendo posible de llegar al

consumo humano, Zhu et al., (2023) identifica 11 tipos de polímeros en la placenta humana, con un 14.55% de abundancia en partículas de polipropileno.

Con los valores obtenidos en el análisis FT-IR de la Figura 49 de la muestra G3 comparado con los valores que expone Jung et al., (2018) y Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023), y debido a que el pico en la zona cercana a 3000 confirma grupos como el metil y metileno la partícula de MPs analizada bajo FT-IR se trata de un celofán, polímero que tiene distintos usos en la vida cotidiana, las aplicaciones de este incluyen cintas, etiquetas, películas fotográficas, recubrimientos para productos de papel, vidrio y plástico (McKeen, 2016).

La muestra G4 y G5 de Figura 50 por los valores de las firmas espectrales analizados y comparados con Jung et al., (2018) hace referencia a muestra de nylon, el polímero mencionado anteriormente alude a una fibra de microplástico, la cual se puede mezclar con una amplia variedad de aditivos para formar diferentes propiedades y tienen una variedad de aplicaciones comerciales en tela de ropa (Fan et al., 2021), considerando la abundancia de fibras en el presente estudio, estas podrían tener una composición similar y tratarse de nylon, partículas reportadas constantemente en la ingesta de peces en forma de fibra, teniendo de 2 a 138 fragmentos de nylon (Wright et al., 2013).

Los valores de espectro base no son completamente iguales debido a que los MPs analizados han sufrido procesos como degradación y meteorización confirmando la suposición con lo mencionado por Castro-Zarate (2022), donde señala acerca de la presencia de biofilm, del intemperismo al que se enfrenta cada microplástico, así como la mezcla de polímeros componentes de una partícula de MPs son razones para no obtener valores exactamente similares a los comparados con la literatura, así mismo la meteorización química, la degradación natural, y los procesos bioquímicos que afecta a los plásticos pueden modificar las características espectrales, haciendo difícil la identificación de microplásticos (Ding et al., 2019).

Los resultados obtenidos en el estudio realizado por Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023) hacen mención a que la degradación de los

microplásticos se corrobora por los cambios frecuentes de valores de las firmas espectrales de las muestras analizadas bajo FTIR y se confirma la diferencia de bandas fuera de fase obtenidas en el presente estudio, por ejemplo los cercanos a 1600 que representa el espectro del grupo de los alcanos (C=C) o a los ésteres (RCOOR) con picos cercanos a 1000; comprobando la degradación que se observan en las imágenes SEM (Figs. 31-48).

6.6 Espectroscopia de Energía Dispersiva (SEM-EDS)

Las muestras seleccionadas para este análisis fueron las G1, G11 y G19; las cuales comprenden toda la zona de estudio.

El presente estudio tiene como objetivo conocer que tipos de partículas adheridas se encuentran en la superficie de los microplásticos.

Se analizaron diferentes muestras, de cada una obtuvimos el espectro de los elementos presentes, así como su composición representada en % peso tanto como óxidos y elementos.

La manufacturación de MPs puede contener un alto rango de aditivos los cuales pueden ser deliberados durante la fabricación o incorporados por inadvertencia mediante son reciclados (Turner & Filella, 2020), sin embargo, algunos aditivos podrían encontrarse en el medio de donde el MPs se encuentre, además, investigaciones recientes mencionan que partículas de MPs son capaces de absorber contaminantes orgánicos y metales mediante su superficie debido a su tamaño en micras (Holmes et al., 2014), el contenido de metales en las partículas de MPs están influenciado por los niveles locales de contaminación (Zhou et al., 2019) resultando un riesgo no únicamente para el medio ambiente, sino por el elevado potencial con el que cuentan de impactar a los organismos al ser consumidos.

Como aditivos, para las nanopartículas de Oxido de titanio (TiO₂) que fueron identificadas en la muestra G19 con valores de 19.247 y 11.421, en la muestra G1 con el valor mayor detectado es de 2.11, y en la muestra de G11 con valor de 5.801 son partículas adheridas al microplástico durante la manufactura como

pigmentos blancos o bloqueadores UV resultantes de su alta eficacia de degradación en el medio natural (Fries et al., 2013), así mismo, los productos de consumo humano como los jabones, shampoo, desodorante, pastas de dientes, cremas antiarrugas, humectantes, cremas de afeitar, mascarillas faciales y cosméticos son los medios para introducir las partículas de MPs directamente en contacto con el humano (Bhattacharya, 2016).

∞ Muestra G1.

Como resultado del análisis de SEM-EDS la partícula de microplástico mostró en los espectros abundancia de Ca (Figs. 52-55) con valores (con base a % peso), por encima de 89.0 lo que podría deberse a las concentraciones de CaCO_3 que se encuentra en los océanos, sin embargo, en el espectro 2 y 4 de la figura 53 y 55 respectivamente obtuvieron índices de Fe con valores de 7.21 y 2.54, siendo este y el Ni presente (Tabla 14-15) con su valor más alto de 2.836, así mismo, las concentraciones de Si, y Al podrían tratarse de concentraciones de minerales como silicatos y plagioclasas.

La concentración que presentaron los metales de Fe y Ni en la muestra G1 podrían atribuirse a la alta densidad de carga en sitios con material orgánico presente, lo que facilita la acumulación de metales (Ashton et al., 2010) así mismo, el valor de hierro y níquel se relaciona a las posibles concentraciones de metales que se encuentran en los sedimentos de la región (Li et al., 2020), Para las concentraciones de Ca, K, Si y Na, se trata de partículas de silicatos adheridas al microplástico las cuales influyen en el mecanismo de aglomeración (Furuviik et al., 2022) así mismo, los MPs al estar expuestos a las acciones del mar en su mayoría, las texturas de los MPs son cubiertas de biofilms, lo que influye en una mayor degradación e ingesta por macroorganismos (Zbyszewski & Hockin, 2014).

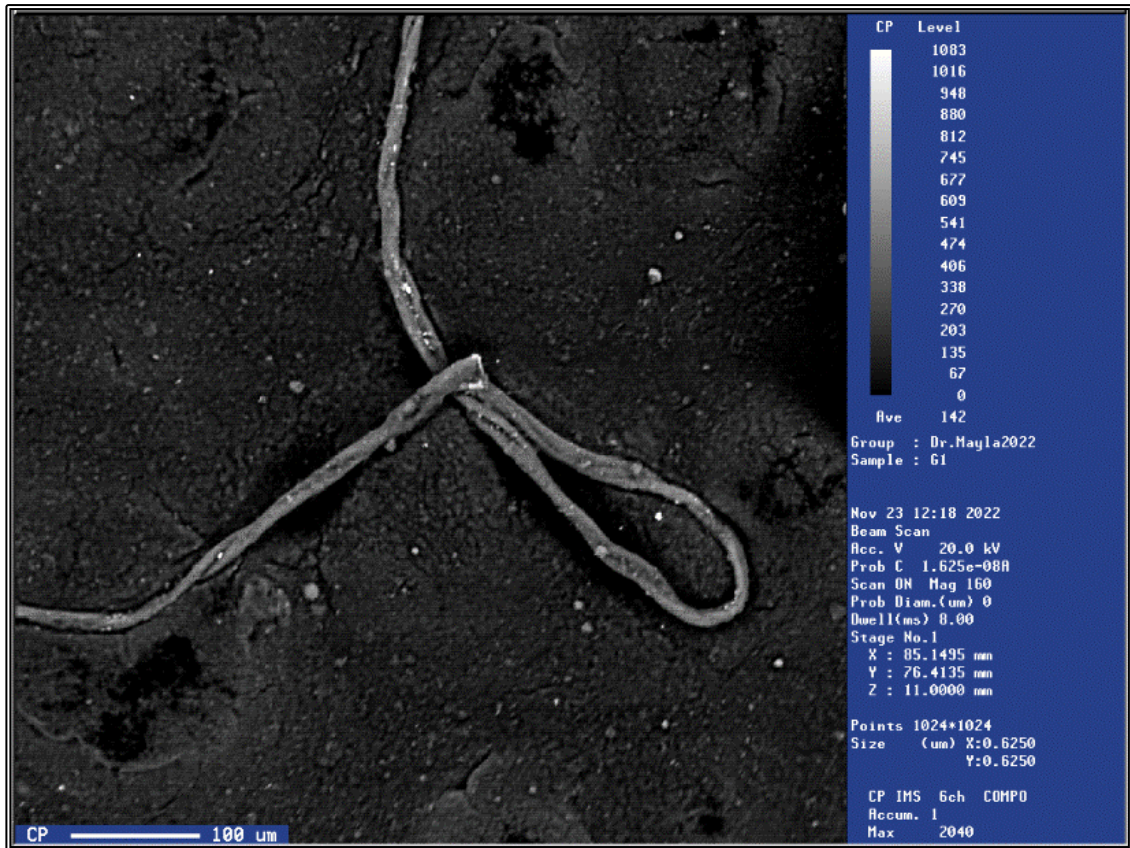


Figura 51. Microplástico de la muestra G1 analizado bajo SEM-EDS.

Los espectros que presentó el microplástico fueron los siguientes:

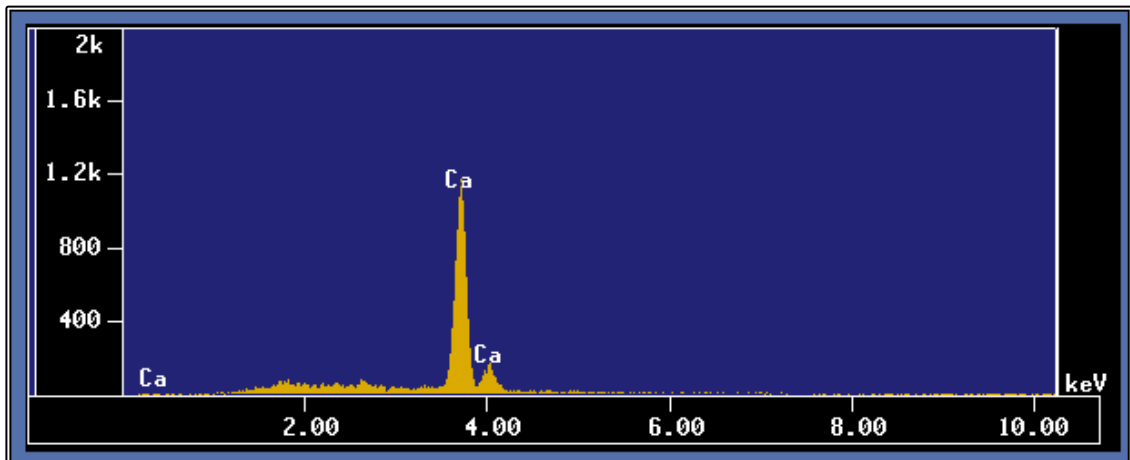


Figura 52. Espectro 1 del microplástico de la muestra G1 analizado bajo SEM-EDS.

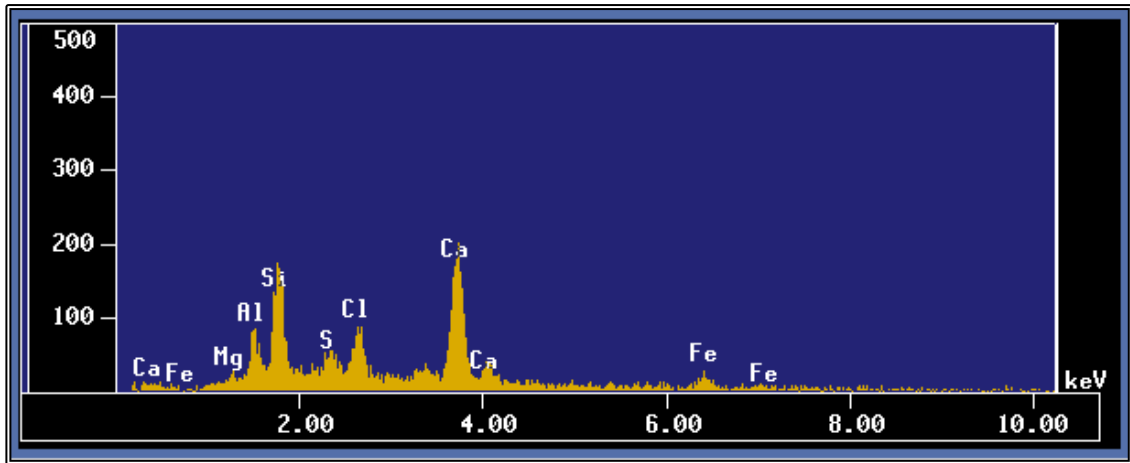


Figura 53. Espectro 2 del microplástico de la muestra G1 analizado bajo SEM-EDS.

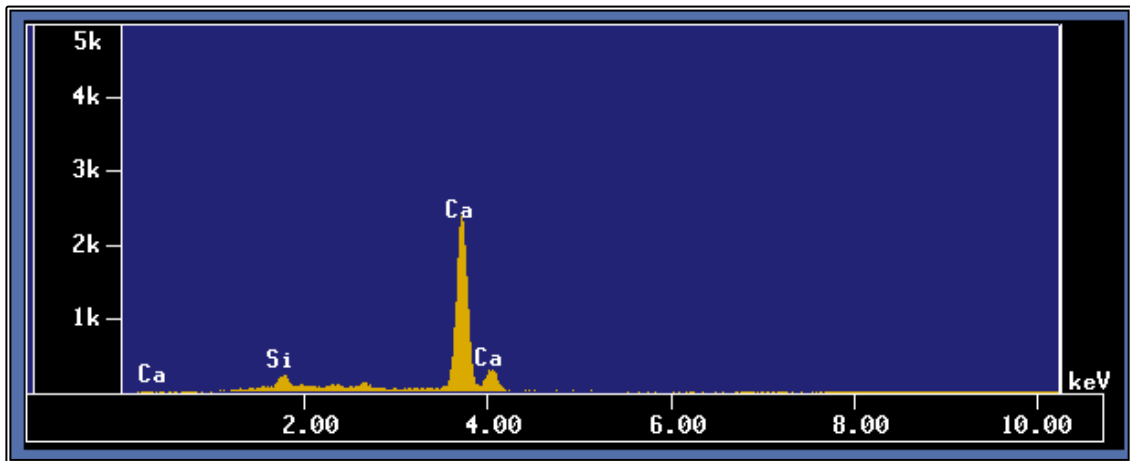


Figura 54. Espectro 3 del microplástico de la muestra G1 analizado bajo SEM-EDS.

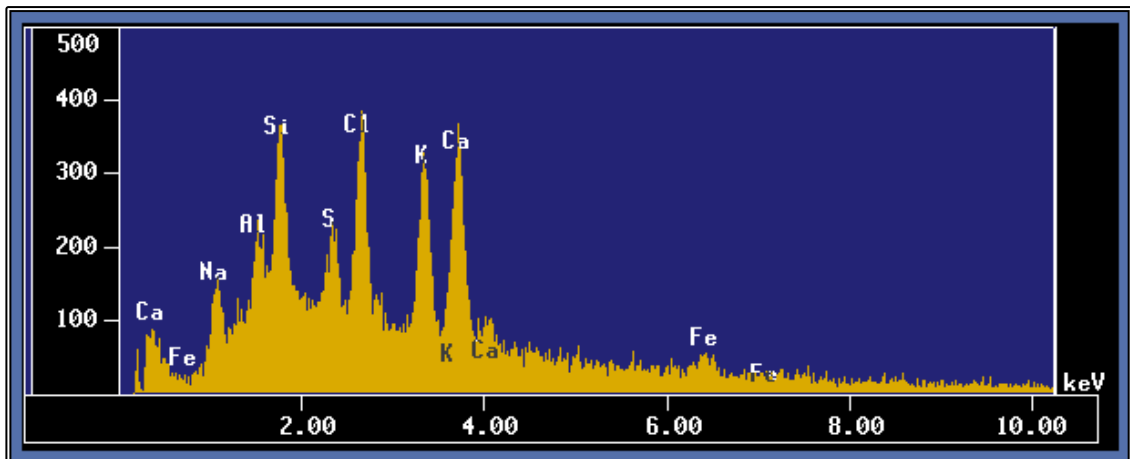


Figura 55. Espectro 4 del microplástico de la muestra G1 analizado bajo SEM-EDS.

Tabla 14. Resultados del análisis químico semicuantitativo de óxidos obtenidos bajo análisis SEM-EDS de la muestra G1.

A)		B)		C)		D)	
Elemento	% peso	Elemento	% peso	Elemento	% peso	Elemento	% peso
Na ₂ O	2.97	Na ₂ O	1.33	Na ₂ O	0.38	Na ₂ O	16.66
MgO	0	MgO	3.28	MgO	1.09	MgO	1.61
Al ₂ O ₃	0.68	Al ₂ O ₃	13.93	Al ₂ O ₃	0	Al ₂ O ₃	7.11
SiO ₂	2	SiO ₂	30.53	SiO ₂	6.63	SiO ₂	18.75
Cl	2	Cl	7.52	Cl	1.68	Cl	10.88
K ₂ O	0.9	K ₂ O	1.04	K ₂ O	0	K ₂ O	14.79
CaO	86.17	CaO	31.62	CaO	89.03	CaO	21.27
TiO ₂	0.71	TiO ₂	1.55	TiO ₂	0.15	TiO ₂	2.11
Cr ₂ O ₃	1.98	Cr ₂ O ₃	2.01	Cr ₂	0	Cr ₂	1.28
MnO	0.67	MnO	0	MnO	0	MnO	0.15
FeO	0.54	FeO	7.21	FeO	0.85	FeO	2.55
NiO	1.73	NiO	0	NiO	0.19	NiO	2.84
	100		100		100		100

Tabla 15. Resultados del análisis químico semicuantitativo de elementos obtenidos bajo análisis SEM-EDS de la muestra G1.

A)		B)		C)		D)	
Elemento	% peso	Elemento	% peso	Elemento	% peso	Elemento	% peso
Na	3.01	Na	1.41	Na	0.39	Na	16.19
Mg	0	Mg	2.92	Mg	0.92	Mg	1.36
Al	0.50	Al	11.17	Al	0.00	Al	5.30
Si	1.23	Si	22.60	Si	4.40	Si	12.53
Cl	2.39	Cl	12.13	Cl	2.38	Cl	15.59
K	1.02	K	1.37	K	0.00	K	17.68
Ca	85.98	Ca	35.97	Ca	90.60	Ca	22.17
Ti	0.63	Ti	1.50	Ti	0.14	Ti	1.84
Cr	1.95	Cr	2.18	Cr	0.00	Cr	1.25
Mn	0.74	Mn	0.00	Mn	0.00	Mn	0.17
Fe	0.60	Fe	8.75	Fe	0.95	Fe	2.80
Ni	1.92	Ni	0	Ni	0.21	Ni	3.13
	100		100		100		100

☞ Muestra G11

En espectro obtenido de SEM-EDS para esta muestra (Fig. 56) y las concentraciones de los análisis químicos semicuantitativos (Tabla 16) se notó la abundancia de elementos como el Ca, Na, Cl, con valores (con base al % peso) de 14.475, 15.448 y 18.431 respectivamente, lo que podría deberse a concentraciones de CaCO_3 presente en el medio marino, y a minerales como silicatos y plagioclasas, los elementos que podrían atribuirse a la presencia de aditivos o en su defecto metales pesados son las concentraciones de 2.650 de Ti, y 5.801 de Fe el estudio realizado por Wang et al., (2017) que presentó concentraciones de titanio en partículas adheridas al microplástico excedía los sólidos extraños en algunas partes de los sitios de muestreo, por lo que señalan que el resultado que obtuvieron podría estar relacionado con el pH más del suelo, basado en los resultados de los espectros y de las concentraciones del microplástico de la muestra G11 representan riesgos ecológicos e impactos potenciales en los organismos (Zhou et al., 2019).

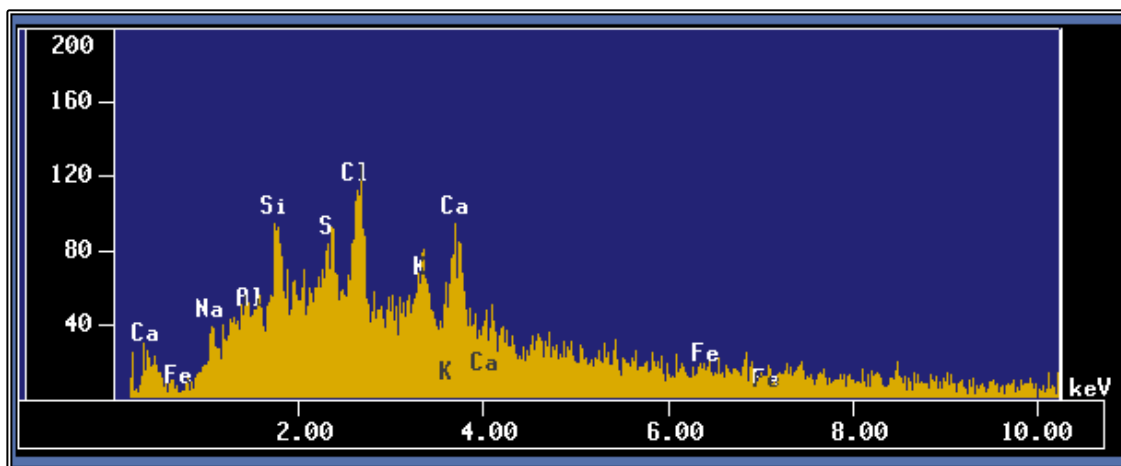


Figura 56. Espectro 1 del microplástico de la muestra G11 analizado bajo SEM-EDS.

Tabla 16. Análisis químico semicuantitativo de representado en elementos y óxidos de la muestra G11.

A)		B)	
Elemento	% peso	Elemento	% peso
Na	15.45	Na_2O	15.27

A)		B)	
Mg	3.02	MgO	3.46
Al	0.00	Al ₂ O ₃	0.00
Si	12.68	SiO ₂	18.68
Cl	18.43	Cl	12.53
K	11.17	K ₂ O	9.11
Ca	14.48	CaO	13.66
Ti	2.65	TiO ₂	3.01
Cr	1.98	Cr ₂	2.00
Mn	4.52	MnO	4.06
Fe	5.80	FeO	5.21
Ni	4.56	NiO	4.07
S	15.45	SO ₃	15.27
	<u>100</u>		<u>100</u>

∞ Muestra G19

El microplástico de la muestra G19 presentó una composición peculiar y diferente a los otros dos, con un elevado porcentaje de Ba (con base al % peso) de 53.628% y 33.481% mostrado en la Tabla 17, el valor presentado en la Tabla 18 es de 38.979, por lo que se ha encontrado Ba y Cl, (como un proxy de polivinilo cloruro, PVC), el metal Ba fue detectado en una amplia gama de productos y diferentes tipos de polímeros de distintas edades de fabricación incluyendo bases de polietileno y polipropileno, fundas de poliestireno y PET usadas para empacar comida y comúnmente de igual manera se presenta en productos construidos a base de PVC (Turner & Filella, 2020), según Fries et al., (2013), la presencia de elementos metales son resultado de los solventes y materiales polímeros adheridos, compuestos de carbonato de bario, sulfuro de bario, sulfato de bario (BaSO₄), siendo este último el más común usado en varios plásticos sin embargo, este compuesto se presenta como inerte (Turner & Filella, 2020), utilizado en aplicaciones médicas por características como su nula toxicidad y solubilidad (Menzie et al., 2008) sin embargo, se prevé que las concentraciones de Ba permanezcan en suspensión en el medio, y las partículas de Ba como aditivo en microplástico de mayor densidad como el

polipropileno y de baja densidad como el polietileno podrían impactar en el ambiente marino (Turner & Filella, 2020).

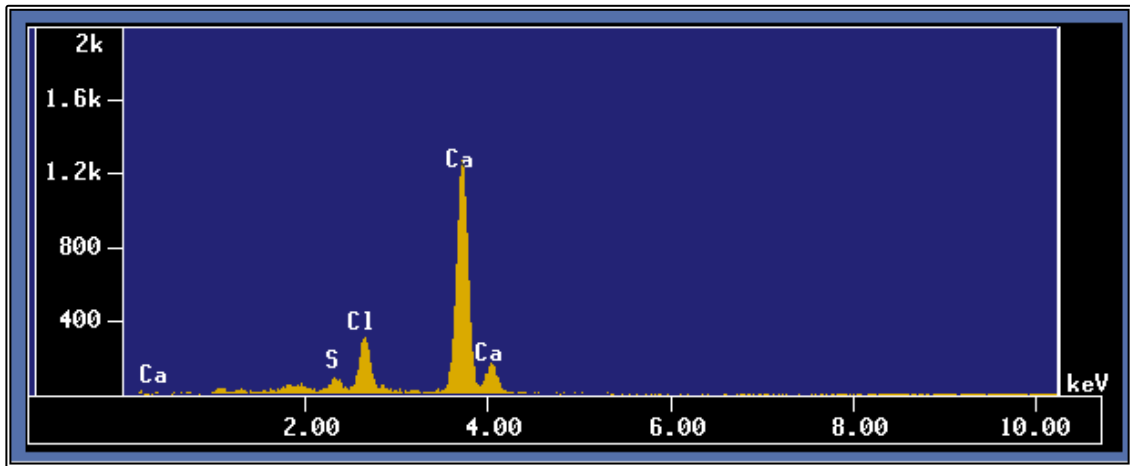


Figura 57. Espectro 1 del microplástico de la muestra G19 analizado bajo SEM-EDS.

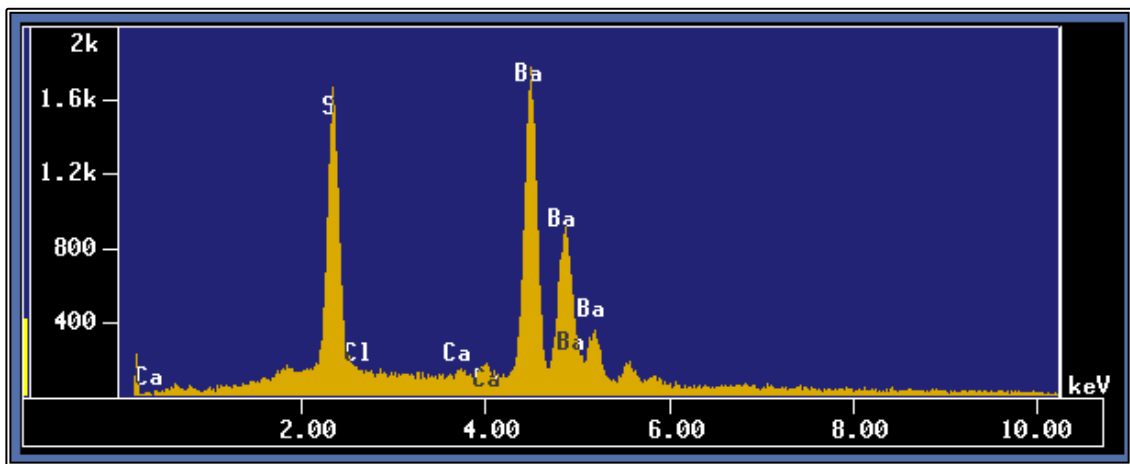


Figura 58. Espectro 2 del microplástico de la muestra G19 analizado bajo SEM-EDS.

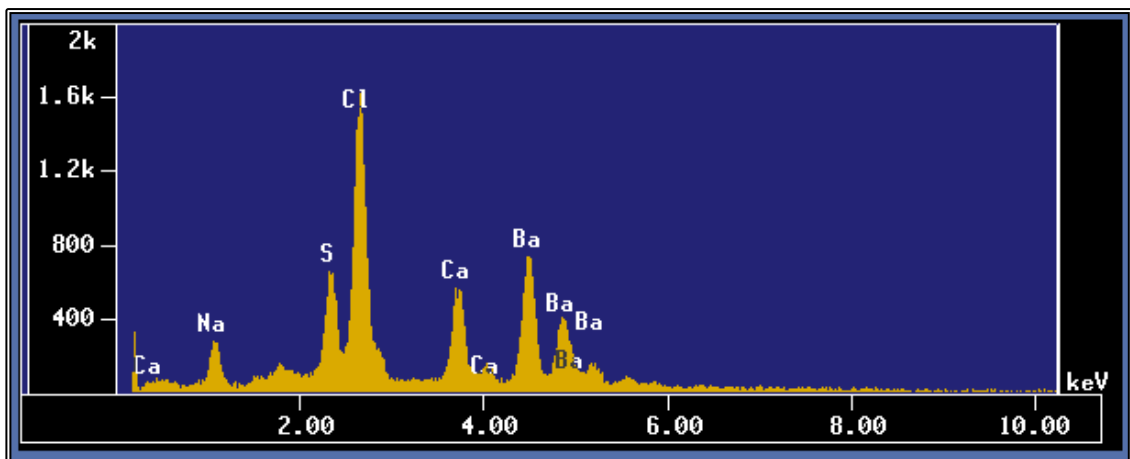


Figura 59. Espectro 3 del microplástico de la muestra G19 analizado bajo SEM-EDS.

Tabla 17. Análisis químico semicuantitativo de óxidos de la muestra G19.

A)		B)		C)	
Elemento	% peso	Elemento	% peso	Elemento	% peso
Na ₂ O	5.581	Na ₂ O	0.00	Na ₂ O	14.057
MgO	1.211	MgO	0.00	MgO	0.000
Al ₂ O ₃	0.247	Al ₂ O ₃	0.00	Al ₂ O ₃	0.907
SiO ₂	0.000	SiO ₂	0.087	SiO ₂	0.929
Cl	9.627	Cl	0.510	Cl	15.425
K ₂ O	0.000	K ₂ O	0.000	K ₂ O	0.000
CaO	78.053	CaO	0.603	CaO	8.817
TiO ₂	0.000	TiO ₂	19.247	TiO ₂	11.421
Cr ₂ O ₃	0.006	Cr ₂ O ₃	0.000	Cr ₂ O ₃	0.000
MnO	0.000	MnO	0.136	MnO	0.526
FeO	0.000	FeO	0.262	FeO	0.117
NiO	0.000	NiO	0.319	NiO	0.820
SO ₃	5.276	SO ₃	25.209	SO ₃	13.499
		BaO	53.628	BaO	33.481
	100		100		100

Tabla 18. Resultados del análisis químico semicuantitativo de elementos obtenidos bajo análisis SEM-EDS de la muestra G19.

A)		B)	
ELEMENTO	% PESO	ELEMENTO	% PESO
Na	5.442	Na	13.655
Mg	0.990	Mg	0.000
Al	0.179	Al	0.648

A)		B)	
Si	0.000	Si	0.583
Cl	13.205	Cl	20.380
K	0.000	K	0.000
Ca	77.291	Ca	8.241
Ti	0.000	Ti	8.900
Cr	0.005	Cr	0.000
Mn	0.000	Mn	0.532
Fe	0.000	Fe	0.118
Ni	0.000	Ni	0.828
S	2.887	S	7.136
		Ba	38.979
	<u>100.000</u>		<u>100.000</u>

Capítulo 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio ofrece una valiosa contribución al entendimiento de los microplásticos en los ecosistemas costeros, centrándose en su abundancia y características fisicoquímicas dentro de los sedimentos de playa. Mediante el empleo de micrografías y análisis composicionales, se ha logrado una comprensión detallada de la morfología y composición de estas partículas, permitiendo así identificar fuentes potenciales de contaminación y comprender su interacción con el entorno. Estos hallazgos no solo son esenciales para la formulación de estrategias efectivas de mitigación y gestión de la contaminación por microplásticos, sino que también sientan las bases para futuras investigaciones que aborden de manera más exhaustiva los impactos ambientales de estas partículas y desarrollen soluciones innovadoras para su abordaje.

Según los resultados se concluye que los sedimentos de playa Guadalupe, se componen principalmente de arenas finas bien clasificadas consecuencia de un ambiente de alta energía con oleaje constante y continuo, indicado por los valores de curtosis. Así mismo, los MPs se encontraron como fibras de color azul predominantemente, derivados de un posible aporte fluvial (Río Tecolutla) cercano a la playa Guadalupe. Con respecto al análisis SEM las texturas presentes en los MPs fueron corrugadas, con fisuras, segmentadas, características de los procesos de degradación y erosión, además, las partículas analizadas presentaron agujeros de disolución, en este contexto, la disolución de pigmentos o aditivos, la salinidad y cambios de pH aumentan las reacciones de oxidación de los microplásticos, dando así texturas no uniformes. Mediante FTIR se obtuvo la composición de los MPs, identificando partículas de poliestireno, polipropileno, celofán y nylon. Las partículas adheridas encontradas en la superficie de los microplásticos analizadas bajo SEM-EDS fueron elementos pesados resultado de pigmentos blancos o bloqueadores UV los cuales quedan suspendidos en los océanos.

El estudio meticuloso de los microplásticos es imperativo para el desarrollo de estrategias efectivas de mitigación y gestión en este contexto ambiental. Al comprender mejor las características fisicoquímicas de los microplásticos en los sedimentos de playa, se pueden identificar áreas prioritarias para la limpieza y remediación, así como diseñar medidas preventivas para reducir la entrada de microplásticos al medio ambiente, por lo que es recomendable la utilización de diversas técnicas de análisis en conjunto al analizar estudios sobre su composición. Estudiarlos ayuda a comprender mejor el origen, el impacto de la contaminación en los ecosistemas marinos y costeros, comprender de qué manera afectan a diferentes organismos, lo que es fundamental para la conservación de la biodiversidad a fin de desarrollar estrategias efectivas de mitigación y gestión.

Para abordar esta problemática, se requiere una acción colectiva a nivel mundial que incluya medidas para reducir la producción de plásticos, mejorar la gestión de residuos y encontrar alternativas más sostenibles. Asimismo, es crucial aumentar la conciencia pública sobre los impactos de los microplásticos y promover cambios en el comportamiento individual y corporativo para reducir su liberación al medio ambiente. Este enfoque integral involucra la colaboración entre gobiernos, industrias, organizaciones no gubernamentales y la sociedad en general, con el fin de desarrollar políticas, regulaciones y prácticas que mitiguen eficazmente la presencia y el impacto de los microplásticos en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Capítulo 8 BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, G. M., & Reyes, G. M. (2005). EPMA: Electronic Microsounds; Principles Of Operation Epma: Microsonda Electrónica; Principios De Funcionamiento. *Revista Colombiana de*, 2(6).
- Allen, P., & Allen, J. (2005). Basin Analysis Principles and Applications. . *Blackwell Publishing Ltd.* .
- Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine environmental research*, 115, 1-10.
- Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A. A., Martínez-Salvador, C., & Vázquez-Morillas, A. (2020). Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104633.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Arche, A. (2010). Facies, sedimentología y análisis de cuencas sedimentarias. *Sedimentología : del proceso físico a la cuenca sedimentaria*.
- Armstrong-Altrin, J. S., & Machain-Castillo, M. L. (2016). Mineralogy, geochemistry, and radiocarbon ages of deep sea sediments from the Gulf of Mexico, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 71, 182-200.
- Armstrong-Altrin, J. S., Madhavaraju, J., Vega-Bautista, F., Ramos-Vázquez, M. A., Pérez-Alvarado, B. Y., Kasper-Zubillaga, J. J., & Bessa, A. Z. (2021). Mineralogy and geochemistry of Tecolutla and Coatzacoalcos beach sediments, SW Gulf of Mexico. *Applied Geochemistry*, 134, 105103.

- Armstrong-Altrin, J. S., Ramos-Vázquez, M. A., Madhavaraju, J., Verma, S. K., Macías-Martínez, K., & Martínez-Ruíz, D. (2022). Quartz grain microtextures in the Boca del Cielo and Chocohuital beaches in the Mexican Pacific, Chiapas state: implication on paleoenvironment. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(11), 1086.
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris. *University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA*.
- Ashton, K., Holmes, L., & Turner, A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 60(11), 2050-2055.
- Awasthi, A. K. (1970). Skewness as an environmental indicator in the Solani river system, Roorkee (India). *Sedimentary Geology*, 177-183.
- Bhattacharya, P. (2016). A review on the impacts of microplastic beads used in cosmetics. *Acta Biomed*, 3(4), Sci.
- Biber, N. F., Foggo, A., & Thompson, R. C. (2019). Characterising the deterioration of different plastics in air and seawater. *Marine pollution bulletin*, 141, 595-206.
- Blair, T. C., & McPherson, J. G. (1999). *Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles*. Journal of Sedimentary Research.
- Boyle, K., & Örmeci, B. (2020). Microplastics and Nanoplastics in the Freshwater and Terrestrial Environment: A Review. *Water*.
- Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., & Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189-195.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines

woldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175-9179.

- Bui, X. T., Nguyen, P. T., Nguyen, V. T., Dao, T. S., & Nguyen, P. D. (2020). Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and removal technologies. *Environmental Technology & Innovation*, 19.
- Cai, L. Q., Wang, J. D., Pen, J. P., Wu, Z. Q., & Tan, X. L. (2018). Observation of the degradation of three types of plastic pellets exposed to UV irradiation in three different enviroments. *Total Environ*, 628, 629.
- Canul-Campos, J. (2023). Habitos alimentarios de los zopilotes cabeza negra (*coragyps astratus*) en la ciudad de Campeche, México. *Tesis de Licenciatura*. Tecnológico Tecnológico de Chiná.
- Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J. J., Martínez-Serrano, R. G., Cabrera-Ramírez, M., Rosales Hoz, L., Alatorre Mendieta, M. A., . . . Lozano-Santa Cruz, R. (2019). Provenance inferred through modern beach sands from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geological Journal*, 50(1), 552-563.
- Carrillo, E., & Granja, X. (2006). Análisis del turismo en el sector de la Laguna Grande de la reserva de producción faunística Cuyabeno (RPFC), considernado la capacidad de carga y el análisis multicritico como herramientas para el desarrollo sustentable. *Tesis de licenciatura*. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/110>
- Castro-Zarate, E. X. (2022). Contaminación por microplásticos y metales en sedimentos costeros de Playa Miramar, Tamaulipas en el noreste del Golfo de México. *Tesis de Maestria*. Universidad Nacional Autónoma de México,, Ciudad de México. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2022/octubre/0832370/Index.html>

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastic Pollutants (1 ed.). *Netherlands: Elsevier Inc.*
- Davis, R. A. (1989). Morphodynamics of the West-Central Florida barrier system: the delicate balance between wave-and tide-domination. *Coastal Lowlands: Geology and Geotechnology*, 225-235.
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., . . . Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabric. *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., . . . Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- De la Lanza-Espino, G. (2004). Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. *Ciencias*, 076.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.
- Ding, J., Li, J., Sun, C., Jiang, F., Ju, P., Qu, L., . . . He, C. (2019). Detection of microplastics in local marine organisms using a multi-technology system. *Analytical Methods*, 11(1), 78-87.
- Douglas, A. S., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). *Principios de análisis instrumental* (Sexta edición ed.). México,D.F.: Cengage Learning™. Recuperado el 24 de Noviembre de 2022
- Faix, O. (1992). Fourier transform infrared spectroscopy. *Methods in lignin chemistry*, 83-109. Recuperado el 24 de Noviembre de 2022

- Fan, C., Huang, Y. Z., Lin, J. N., & Li, J. (2021). Microplastic constituent identification from admixtures by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy: The use of polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC) and nylon (NY) as the model constituent. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101798.
- Fiechter, J., & Mooers, C. N. (2007). Primary production associated with the Florida Current along the East Florida Shelf: Weekly to seasonal variability from mesoscale-resolution biophysical simulations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C12).
- Flenger, S., Heckman, J. W., & Klomparens, L. (1993). *Scanning and transmission electron microscopy and introduction*,. New York: W. H. Freeman and Company.
- Flores Cortes, M. (2021). Características texturales y contaminación por microplásticos en los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Flores-Cortés, M., & Armstrong-Altrin, J. S. (2022). Textural characteristics and abundance of microplastics in Tecolutla beach sediments, Gulf of Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10), 752.
- Flores-Ocampo, I. Z., & Armstrong-Altrin, J. S. (2023). Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114891.
- Folk, R. L. (1954). *The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in*. The Journal Of Geology, 62(4). Obtenido de <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/626171>
- Folk, R. L., & Ward, M. (1957). Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. En *Journal of sedimentary research* (págs. 27, 3-27).

- Friedman, G. M. (1962). Comparison of moment measures for sieving and thin-section data in sedimentary petrological studies. *Journal of Sedimentary Research*, 32(1), 15-25.
- Fries, E., Dekiff, J. H., Willmeyer, J., Nuelle, M. T., Ebert, M., & Remy, D. (2013). Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental science: processes & impacts*, 15(10), 1949-1956. Retrieved from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2013/em/c3em00214d>
- Furuvik, N. C., Wang, L., Jaiswal, R., Thapa, R., Eikeland, M. S., & Moldestad, B. M. (2022). Experimental study and SEM-EDS analysis of agglomerates from gasification of biomass in fluidized beds. *Energy*, 252, 124034.
- Girão, A. V. (2020). SEM/EDS and optical microscopy analysis of microplastics. *Handbook of Microplastics in the Environment*, 1-22.
- He, D., Zhang, X., & Hu, J. (2021). Methods for separating microplastics from complex solid matrices: Comparative analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 409, 124640.
- Hermenegildo, N. (2019). Geoquímica y geocronología de U-Pb en circones de playa Chachalacas, estado de Veracruz, Golfo de México: Implicaciones de procedencia. *Tesis de licenciatura*.
- Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2014). Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. *Marine Chemistry*, 167, 25-32.
- INEGI. (20 de 08 de 2020). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Tecolutla. Veracruz de Ignacio de la Llave*. Recuperado el 01 de 10 de 2022, de Compendio de información geográfica municipal 2010. Tecolutla. Veracruz de Ignacio de la Llave :

https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30158.pdf

- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez, V., Beers, K. L., Balazs, G. H., . . . Lynch, M. J. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine pollution bulletin*, 127, 704-716.
- Karthik, R., Robin, R. S., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Raghuraman, R., . . . Ramesh, R. (2018). Microplastics along the beaches of southeast coast of India. *Science of the Total Environment*, 645, 1388-1399.
- Karthik, R., Robin, R. S., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Raghuraman, R., . . . Ramesh, R. (2018). Microplastics along the beaches of southeast coast of India. *Science of the Total Environment*, 645, 1388-1399.
- Khalid, N., Aqeel, M., Noman, A., Khan, S. M., & Akhter, N. (2021). Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments. *Environmental Pollution*, 290, 118104.
- Klein, S., Worch, E., & Knepper, T. P. (2015). Occurrence and spatial distribution of microplastics in river shore sediments of the Rhine-Main area in Germany. *Environmental science & technology*, 49(10), 6070-6076.
- Li, W., Lo, H. S., Wong, H. M., Zhou, M., Wong, C. Y., Tam, N. F., & Cheung, S. G. (2020). Heavy metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong. *Marine pollution bulletin*, 153, 110977.
- Lin, Y., Huang, X., Liu, Q., Lin, Z., & Jiang, G. (2020). Thermal fragmentation enhanced identification and quantification of polystyrene micro/nanoplastics in complex media. *Talanta*, 208, 12478.
- Lithgow, D., Moreno-Casasola, P., Martínez, M. L., Martínez-Martínez, R. E., Silva, R., Vázquez, G., . . . Ramírez-Hernández, A. (2020). *La zona*

costera del. Ciudad de México: INECOL. Retrieved from <http://www.inecol.mx/inecol/libros>

- Liu, W., Zhao, Y., Shi, Z., Li, Z., & Liang, X. (2020). Ecotoxicoproteomic assessment of microplastics and plastic additives in aquatic organisms: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 36, 100713.
- Lots, F. A., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A., & Bosker, T. (2017). large-scale investigation of microplastic contamination: abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine pollution bulletin*, 219-226.
- Manzoor, S. N. (2022). Plastic material degradation and formation of microplastic in the environment: A review. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3254-3260.
- Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., Yang, X., & Guo, X. (2020). Aging mechanism of microplastics with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals. *ournal of hazardous materials*, 393, 122515.
- Martinez-López, B., & Parés-Sierra, A. (2017). The Deposition and Accumulation of Microplastics in Marine Sediments and Bottom Water from the Irish Continental Shelf. *Scientific Reports*, 7(1), 107772.
- Mauricio. (16 de Octubre de 2014). *Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica - Argentina*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2022, de http://www.anmat.gov.ar/webanmat/mercosur/ACTA02-13/P_Res_Monografia_Infrarrojo_ES.pdf
- McKeen, L. W. (2016). Permeability Properties of Plastics and Elastomers. *William Andrew*.
- Menzie, C. A., Southworth, B., Stephenson, G., & Feisthauer, N. (2008). The importance of understanding the chemical form of a metal in the

- environment: the case of barium sulfate (barite). *Human and Ecological Risk Assessment*, 15(5), 974-991.
- Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*, 108(2), 131-139.
- Murcia, H., Borrero, C. A., Pardo, N., Alvarado, G. E., Arnosó, M., & Scolamacchia, T. (2013). Depósitos volcanoclásticos: términos y conceptos para una clasificación en español. *Revista Geológica De América Central*, 48, 15-39.
- Murphy, J. (2003). *Additives for plastics handbook*. Oxford, UK: Elsevier Advanced Technology.
- Nabi, I., Bacha, A., & Zhang, L. (2022). A review on microplastics separation techniques from environmental media. *Journal of Cleaner Production*, 130458.
- Naji, A., Esmaili, Z., & Khan, F. R. (2017). Plastic debris and microplastics along the beaches of the Strait of Hormuz, Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*, 114(2), 1057-1062.
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2020). Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. *Global Challenges*, 4(6), 1900081.
- Noventa, S., Boyles, M. S., Seifert, A., Belluco, S., Jiménez, A. S., Johnston, H. J., . . . Losasso, C. (2021). Paradigms to assess the human health risks of nano-and microplastics. *Microplastics and Nanoplastics*, 1-27.
- Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., & Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental pollution*, 184, 161-169.
- Oey, L., Ezer, T., & Lee, H. (2006). Loop Current, rings and related circulation in the Gulf of Mexico: A review of numerical models and future challenges. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 161, 31.

- Olivares-Cruz, M. (2010). Estudio sedimentológico de playas ubicadas frente al Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortiz-Lopez, D. A. (2013). Diagnostico del impacto del ecoturismo sobre los manglares del municipio de Tecolutla, Veracruz. *Trabajo Recepcional*. Universidad Veracruzana.
- Ortiz-Lozano, L., Arceo-Briseño, P., Granados-Barba, A., Salas-Monreal, D., & Jiménez Badillo, M. (2010). *Zona Costera*. Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Padilla y Sánchez, R. J. (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 59(1), 19-42. Obtenido de file:///C:/Users/TMAYA5/Downloads/Padilla-SEdeMexico-SGM-2007%20(1).pdf
- Piñon-Colin, T. J., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M. A., Rogel-Hernandez, E., & Wakida, F. T. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 131, 63-71.
- Prunier, J., Maurice, L., Perez, E., Gigault, J., Wickmann, A. C., Davranche, M., & Ter Halle, A. (2019). Trace metals in polyethylene debris from the North Atlantic subtropical gyre. *Environmental Pollution*, 245, 371-379.
- Ramos-Vázquez, M. A., & Armstrong-Altrin, J. S. (2021). Provenance of sediments from Barra del Tordo and Tesoro beaches, Tamaulipas State, northwestern Gulf of Mexico. *Journal of Palaeogeography*, 10(1), 20.
- Rangel-Buitrago, N., Rodríguez, R. D., Moreno, J. B., Ochoa, F. L., & Neal, W. (2022). Are sediment textural parameters an “influencer” of microplastics presence in beach environments? *Marine Pollution Bulletin*, 184, 114125.

- Retama, I., Jonathan, M. P., Shruti, V. C., Velumani, S., Sarkar, S. K., R., P. D., & Rodriguez-Espinosa, P. F. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 530-535.
- Reyes, S. A., & Martiny, B. (1993). *Instructivo básico para el manejo del microscopio electrónico de barrido Jeol-35 y el equipo de energía dispersiva Tracor Northern*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. .
- Rios, L. M., Moore, C., & Jones, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine pollution bulletin*, 54(8), 1230-1237.
- Rodríguez, S., & Morales-Barrera, W. (2010). *Atlas del patrimonio natural histórico y cultural del estado de Veracruz*.
- Ruiz-Mendoza, V. V.-S., Barry, T. L., Moreno, J. A., & Torres-Hernández, J. R. (2021). Geochemistry and geochronology of intermediate volcanic rocks from the Compostela area, Nayarit, Mexico: Implications for petrogenesis and tectonic setting. *Geological Journal*, 56(8), 4401-4428.
- Sanchez, L. J. (2018). Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. *Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Servicio Geológico Mexicano. (2004). *Carta Geológico Minero 1:250000 Poza Rica F14-12 Veracruz, Puebla e Hidalgo*. GEOINFOMEX. Obtenido de https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/96_F14-12_GM.pdf
- Suganraj, K., Singarasubramainian, S. R., Rajmohan, S., Sathya, A., & Sundararajan, M. (2013). Grain size statistical parameters of coastal sediments at Kameswaram, Nagapattinam district, east coast of Tamilnadu, India. *International Journal of Recent Scientific Research*, 4(2), 102-206.

- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2013). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson educacion S. A. .
- Taulbee, D., & Furst, A. (2005). CENTRIFUGATION | Preparative. *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)*, 469-481.
- Terry, J. P., & Goff, J. (2014). *Megaclasts: Proposed Revised Nomenclature At the Coarse End of the Udden-Wentworth Grain-Size Scale for Sedimentary Particles*. *Journal of Sedimentary Research*.
- Thomas, D., Schütze, B., Heinze, W. M., & Steinmetz, Z. (2020). Sample preparation techniques for the analysis of microplastics in soil—a review. *Sustainability*, *12*(21), 9074.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, *304*(5672), 838-838.
- Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & Vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 1973-1976.
- Turner, A., & Filella, M. (2020). The influence of additives on the fate of plastics in the marine environment, exemplified with barium sulphate. *Marine pollution bulletin*, *2020*, 111352.
- Turner, A., & Filella, M. (2020). The influence of additives on the fate of plastics in the marine environment, exemplified with barium sulphate. *Marine Pollution Bulletin*, *158*, 111352.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects. *Marine environmental research*, *111*, 5-17.
- Vayghan, A. H., Rasta, M., Zakeri, M., & Kelly, F. J. (2022). Spatial distribution of microplastics pollution in sediments and surface waters of the Aras

River and reservoir: An international river in Northwestern Iran. *Science of The Total Environment*, 843, 156894.

- Verma, S. K., Torres-Sánchez, D., Hernández-Martínez, K. R., Malviya, V. P., Singh, P. K., Torres-Hernández, J. R., & Rivera-Escoto, B. A. (2021). Geochemistry of Eocene felsic volcanic rocks from the Mesa Virgen-Calerilla, Zacatecas, Mexico: Implications for the magma source and tectonic setting. *Geological Journal*, 56(7), 3771-3790.
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54-60.
- Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., & Zhang, P. (2019). Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review. *Science of the total environment*, 691, 848-857.
- Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Gao, Y., Zhan, Z., Chen, Q., & Cai, L. (2017). Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. *Chemosphere*, 171, 248-258.
- Wang, Z. M., Wagner, J., Ghosal, S., Bedi, G., & Wall, S. (2018). SEM/EDS and optical microscopy analyses of microplastics in ocean trawl and fish guts. *Science of the Total Environment*, 603, 616-626.
- Wardrop, P., Shimeta, J., Nuggeoda, D., Morrison, P. D., Miranda, A., Tang, M., & Clarke, B. O. (2016). Chemical pollutants sorbed to ingested microbeads from personal care products accumulate in fish. *Environmental science & technology*, 50(7), 4037-4044.
- Wessel, C. C., Lockridge, G. R., Battiste, D., & Cebrian, J. (2016). Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: insights into

- microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 178-183.
- Wilkins, J. L., McQueen, A. D., LeMonte, J. J., & Suedel, B. C. (2020). Initial survey of microplastics in bottom sediments from United States waterways. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 104, 15-20.
- Winker, C., & Buffler, R. (1998). Paleographic evolution of Gulf of Mexico and margins Jurassic to Middle Cretaceous (Comanchean). *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 72, 318-346.
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental pollution*, 178, 483-492.
- Yáñez-Arancibia, A. D. (2004). Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, 47(11-12), 727-757.
- Yaranal, N. A., Subbiah, S., & Mohanty, K. (2021). Identification, extraction of microplastics from edible salts and its removal from contaminated seawater. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101253.
- Zavala Leon, A. C. (2018). Geoquímica y datación de zircones detríticos de playa "Atasta" del suroeste del Golfo de México, México: implicaciones de procedencia. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Zbyszewski, M. C., & Hockin, A. (2014). Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *Journal of Great Lakes Research*, 40(2), 288-299.
- Zhou, Y., Liu, X., & Wang, J. (2019). Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. *Science of the Total Environment*, 694, 133798.

Zhu, L., Zhu, J., Zuo, R., Xu, Q., Qian, Y., & Lihui, A. N. (2023). Identification of microplastics in human placenta using laser direct infrared spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 856, 159060.