UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS (MPs) EN EL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIA LUNA, PROVINCIA DE ILO - 2020

TESIS

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

DAVID JOSUE FUENTES MAMANI

ILO - PERÚ

2022

Folio Nº 013

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

RESOLUCIÓN DE FACULTAD Nº 115-2021-FACIA-UNAM

Fecha: 16/12/2021

III. El jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:

"DETERMINACIÓN DE LA PRECENCIA DE MICROPLÁSTICOS (MPS) EN EL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIA LUNA, PROVINCIA DE ILO - 2020"

Bachiller: DAVID JOSUE FUENTES MAMANI

Asesor Principal: Dr. HEBERT HERNAN SOTO GONZALES

Co-Asesor: — — —

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [X]

Con nota: TRECE (13) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 10:00 horas, del 22 de DICIEMBRE del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Dr. Franz Zirena Vilca
Presidente

Primer Miembro

José Antonio Rodríguez García
Segundo Miembro

DNI: 42174918
NOMBRE: DAVID JOSUE FUENTES MAMANI
Bachiller

Dedicatoria

Para mi abuela Dominga por la fortaleza mostrada hasta el último día de su vida, para mi madre Teresa por su especial valentía en momentos difíciles, para mi hermano Antonio por la amplitud de su corazón y para mi padre Mariano por enseñarme que muchas veces menos es más.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Moquegua, a sus escuelas profesionales, y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; a todos los docentes y plana administrativa que hacen posible que la educación superior de calidad siga desarrollándose y ampliándose en la región Moquegua.

A mi asesor el Dr. Hebert Hernán Soto Gonzales, por su valiosa guía, disposición y conocimientos durante este arduo tiempo de formulación, ejecución y presentación de tesis.

Al Dr. Rubén García Braham de la Universidad Autónoma de Coahuila – México, especialista en espectrometría, por su voluntad de colaboración proporcionada mientras muchas puertas se cerraban en Perú debido a las restricciones de la declaratoria de emergencia sanitaria nacional.

A la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento ILO S.A. (EPSILO S.A.), por brindar las facilidades necesarias para la toma de muestras de agua residual, en especial al Ing. Orlando Oswaldo Pachari Chipana por sus precisos conocimientos técnicos sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Media Luna.

A la Lic. Juana Judith Meléndez Mier, Jefa de Prácticas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua, quien con sus vastos conocimientos y afabilidad provocó un desarrollo fluido de las actividades en laboratorio.

A mis familiares, colegas y amigos que comunicando sus puntos de vista, constructivas críticas y nutridas discusiones pulieron aspectos importantes de la presente tesis.

Resumen

Los microplásticos (MPs) debido a sus dimensiones representan la magnificación de la problemática acerca del plástico, por dos razones puntuales: por su composición química y por servir de vector de compuestos tóxicos al cuerpo receptor u organismo. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar presencia de MPs en agua residual de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Media Luna (PTAR-ML), ubicada en la provincia de Ilo. Para el pretratamiento de las muestras se empleó la metodología diseñada por la Administración Nacional de Océano y Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés), para determinar composición polimérica de MPs se utilizó equipo de microscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (μFTIR). Del total de muestras analizadas se identificaron 11 tipos de polímeros en 409 partículas de MPs; siendo el polietileno (PE), Poliamida-Nylon (PA) y Polipropileno (PP) los polímeros con mayor frecuencia. En afluente y efluente de la PTAR-ML, se obtuvo una media de 67.5±11.7 y 17.4±1 de MPs.L^{-1} respectivamente; según el tamaño predominaron los Minimicroplásticos (89%); según la morfología se halló mayor frecuencia de microfragmentos (52%) y microfibras (41%) en colores como Oscuro (35%), Azul (20%) y Beige (12%). Los resultados a la vez muestran un descenso de la presencia de MPs desde el punto de ingreso al punto de salida del agua residual en la PTAR Media Luna; esto representa un dato importante ya que significa menor emisión de MPs al cuerpo de agua receptor. Los resultados constituyen una línea de base que será de utilidad para la gestión ambiental y la comprensión de la situación actual de los MPs en el agua residual de la PTAR Media Luna.

Palabras clave: Microplásticos, agua residual, planta de tratamiento de agua residual, microscopía FTIR, microplástico primario, microplástico secundario.

Abstract

Microplastics (MPs), due to their dimensions, represent the magnification of the plastic problem, for two specific reasons: for their chemical composition and for serving as a vector of toxic compounds to the receiving body or organism. This research work aimed to determine the presence of PMs in wastewater from the Media Luna Wastewater Treatment Plant (PTAR-ML), located in the province of Ilo. For the pretreatment of samples a methodology designed by the National Oceanic and Atmospheric Administration of the United States (NOAA) was used, to determine the polymeric composition of PMs using Fourier transform infrared microscopy (μFTIR) equipment. Of the total samples analyzed, 11 types of polymers were identified in 409 PM particles; polyethylene (PE), polyamide-nylon (PA), and polypropylene (PP) were the most frequent polymers. In the influent and effluent of the WWTP-ML, an average of 67.5±11.7 and 17.4±1 of PMs.L-1 was obtained, respectively; according to size, Minimicroplastics predominated (89%); according to morphology, a greater frequency of microfragments (52%) and microfibers (41%) was found in colours such as Dark (35%), Blue (20%) and Beige (12%). The results also show a decrease in the presence of PMs from the point of entry to the point of exit of the wastewater at the Media Luna WWTP; this represents an important fact since it means less emission of PMs to the receiving water body. The results constitute a baseline that will be useful for environmental management and for understanding the current situation of PMs in the wastewater from the Media Luna WWTP.

Key words: Microplastics, wastewater, wastewater treatment plant, FTIR microscopy, primary microplastic, secondary microplastic.

INDICE GENERAL

Dedicatoria ---------- **iv**

Agradecimiento ---------- **v**

Resumen ---------- **vi**

INDICE GENERAL ---------- **viii**

INDICE DE TABLAS ---------- **xiii**

INDICE DE FIGURAS ---------- **xv**

INDICE DE ANEXOS ---------- **xviii**

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS ---------- **xix**

INTRODUCCIÓN ---------- **xxi**

I. Problema de investigación ---------- **1**

1.1. Formulación del problema ---------- **1**

1.2. Justificación e importancia de la investigación ---------- **3**

1.3. Objetivo de investigación ---------- **4**

1.3.1. Objetivo general ---------- 4

1.3.2. Objetivos específicos ---------- 4

II. Marco teórico ---------- **4**

2.1. Antecedentes del estudio ---------- **4**

2.1.1. Nacionales ---------- 4

2.1.2. Internacionales ---------- 5

2.2. Bases teóricas ---------- 9

2.2.1. Industria del plástico en el Perú ---------- 9

2.2.1.1. Clasificación internacional de plásticos ---------- 13

2.2.2. Plantas de tratamiento de aguas residuales ---------- 14

2.2.3. Niveles de tratamiento de aguas residuales ---------- 14

2.2.3.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar ---------- 15

2.2.3.2. Tratamiento primario ---------- 15

2.2.3.3. Tratamiento secundario ---------- 15

2.2.3.4. Tratamiento terciario ---------- 16

2.2.4. Planta de tratamiento de aguas residuales Media Luna – EPS ILO ---------- 17

2.2.4.1. Buzón de Ingreso, cámara de rejas y desarenadores ---------- 17

2.2.4.2. Laguna Primaria Aireada ---------- 18

2.2.4.3. Lagunas Secundarias Facultativas ---------- 18

2.2.4.4. Lagunas Terciarias Facultativas ---------- 18

2.2.5. Aguas residuales ---------- 19

2.2.6. Microplásticos ---------- 22

2.2.7. Microplásticos en Plantas de tratamiento de aguas residuales ---------- 26

2.2.8. Definición de términos ---------- 27

III. Marco metodológico ---------- 30

3.1. Lugar de ejecución ---------- 30

3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación ---------- 30

3.3. Operacionalización de variables ---------- 30

3.3.1. Variable de caracterización ---------- 30

3.3.2. Variable de interés ---------- 32

3.4. Población y muestra ---------- 32

3.5. Técnicas de recolección de datos ---------- 35

3.6. Colecta de muestras ---------- 35

3.6.1. Muestreo de la fracción líquida ---------- 38

3.6.1.1. Pretratamiento de muestras ---------- 38

3.6.1.1.1. Secado de las muestras de fracción líquida ---------- 39

3.6.1.1.2. Determinación de la masa total de sólidos ---------- 39

3.6.1.1.3. Oxidación de la materia orgánica ---------- 39

3.6.1.1.4. Separación por densidad ---------- 40

3.6.2. Muestreo de la fracción acuosa ---------- 41

3.6.2.1. Pretratamiento de muestras ---------- 41

3.7. Análisis de microplásticos ---------- 42

3.7.1. Categorización basada en el tamaño ---------- 43

3.7.2. Categorización basada en la morfología---------- 43

3.7.3. Categorización basada en el color ---------- 44

3.7.4. Categorización por tipo de polímero ---------- 44

3.8. Abundancia numérica de microplásticos ---------- 45

3.9. Análisis y presentación de datos ---------- 45

IV. Aspectos administrativos ---------- 45

4.1. Recursos humanos ---------- 46

4.2. Equipos, materiales e insumos ---------- 46

4.3. Servicios---------- 48

4.4. Cronograma de actividades ---------- 48

V. Resultados de investigación ---------- 52

5.1. Presencia de MP en agua residual de la PTAR-ML ---------- 52

5.1.1. Identidad polimérica ---------- 52

5.1.2. Caracterización física de microplásticos ---------- 54

5.1.2.1. Basada en su tamaño ---------- 55

5.1.2.2. Basado en la morfología ---------- 57

5.1.2.3. Basado en su color---------- 59

5.1.3. Cuantificación de MP ---------- 61

VI. Discusión de resultados ---------- 69

VII. Conclusiones ---------- **79**

VIII. Recomendaciones ---------- **80**

IX. Bibliografía ---------- **81**

X. Anexos ---------- **97**

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Importación de plástico en formas primarias 13

Tabla 2. Generación de aguas residuales - Ilo 20

Tabla 3. Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas residuales 21

Tabla 4. Tipos de polímeros hallados en aguas residuales de PTAR. 27

Tabla 5. Operacionalización variable de caracterización. 31

Tabla 6. Operacionalización variable de interés. 32

Tabla 7. Puntos de muestreo de agua residual – PTAR ML - ILO. 34

Tabla 8. Requerimiento de Materiales 46

Tabla 9. Requerimiento de reactivos 47

Tabla 10. Requerimiento de equipos 47

Tabla 11. Muestras consideradas para el análisis espectrométrico 52

Tabla 12. Muestras analizadas con Microscopía FTIR 53

Tabla 13. Categorización de MPs basado en el tamaño 55

Tabla 14. Categorización de MPs basada en la morfología 57

Tabla 15. Caracterización de microplásticos basado en el color 60

Tabla 16. Frecuencia absoluta de microplásticos por fecha de muestreo 62

Tabla 17. Clasificación internacional de plásticos - Codificación ASTM 97

Tabla 18. PTAR en el ámbito de las EPS (Toma de datos hasta julio 2014) 91

Tabla 19. Materiales requeridos para desarrollo de tesis – Lista 93

Tabla 20. Requerimiento de reactivos para pretratamiento de muestras 93

Tabla 21. Equipos requeridos para desarrollo de tesis 94

Tabla 22. Categorización de microplásticos basado en el tamaño 95

Tabla 23. Categorización basada en la morfología 96

Tabla 24. Categorización basada en el color 97

Tabla 25. Código de abreviaturas de polímeros 98

Tabla 26. Programa de muestreo de agua residual - PTAR-ML 101

Tabla 27. Resumen de estudios anteriores 102

Tabla 28. Matriz de consistencia proyecto de tesis 103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción Industrial de productos de plástico 2013 - 2019 10

Figura 2. Producción de plástico y caucho en formas primarias 11

Figura 3. Demanda de productos plásticos por sector 12

Figura 4. Descripción de los tipos de tratamiento de agua residual 16

Figura 5. Clasificación de MPs por tamaño. 22

Figura 6. Clasificación de MPs según el Sistema Estandarizado. 24

Figura 7. Fuentes y rutas de los MPs en el medio ambiente. 25

Figura 8. Ilustración sobre el perfil de una laguna de la PTAR-ML. 36

Figura 9. Puntos de muestreo de agua residual. 37

Figura 10. Cronograma de actividades de ejecución de tesis 49

Figura 11. Diagrama de flujo de actividades de proyecto de tesis 51

Figura 12. Frecuencia relativa de microplásticos. 54

Figura 13. Caracterización de MPs basada en el tamaño. 56

Figura 14. Microplásticos tamaños. 56

Figura 15. Porcentaje de representatividad de MPs según su morfología. 58

Figura 16. Microplásticos de diferentes morfologías. 59

Figura 17. Porcentaje de representatividad de MPs según su color. 60

Figura 18. Colores de microplásticos hallados en muestras. 61

Figura 19. Presencia de microplásticos en afluente y efluente de la PTAR-ML. 63

Figura 20. Presencia de MPs por fecha y punto de muestreo. 64

Figura 21. Frecuencia absoluta y relativa de microplásticos por tipo de polímero. 65

Figura 22. Frecuencia absoluta de MPs por tipo de polímero. 66

Figura 23. Abundancia de MPs por tipo de polímero en afluente..... 67

Figura 24. Abundancia de MPs por tipo de polímero en efluente 68

Figura 25. Materiales, equipos y vehículo utilizados. 104

Figura 26. Realizando muestreo en afluente de la PTAR-ML – Ilo. 104

Figura 27. Ingresando a laguna secundaria 1 para toma de muestra. 105

Figura 28. Utilizando contenedor de metal para toma de muestras de zona fótica. 105

Figura 29. Utilizando pipeta prefabricada de PVC toma de muestras de zona facultativa. 106

Figura 30. Utilizando pipeta prefabricada de PVC toma de muestras de zona anaeróbica. 106

Figura 31. Sometiendo a agitación muestra acuosa de zona anaeróbica. 107

Figura 32. Proceso de pipeteo de sobrenadante de muestra acuosa. 107

Figura 33. Sobrenadante de muestras acuosas. 108

Figura 34. Sometiendo a calor, 90 °C por 24 horas. 108

Figura 35. Proceso de oxidación de materia orgánica. 109

Figura 36. Proceso de separación por densidad. 109

Figura 37. Proceso de separación por densidad. 110

Figura 38. Proceso de drenaje de sólidos asentados en las peras de decantación. 110

Figura 39. Proceso de caracterización de MPs por tamaño, morfología y color. 111

Figura 40. Preservación y protección de muestras. 111

Figura 41. Análisis espectrométrico. 112

Figura 42. Diploma de capacitación en equipos FTIR. 112

Figura 43. Espectro infrarrojo de Polietileno (PE). 113

Figura 44. Espectro infrarrojo de Poliamida / Nylon 6,9 (PA 6-9). 114

Figura 45. Espectro infrarrojo de Polipropileno (PP). 115

Figura 46. Espectro FTIR de Polietileno tereftalato (PET). 116

Figura 47. Espectro FTIR de Policarbonato (PC). 117

Figura 48. Espectro FTIR de Policloruro de vinilo (PVC). 118

Figura 49. Espectro FTIR de Poliéter Sulfona (PES). 119

Figura 50. Espectro FTIR de Polietileno de alta densidad (HDPE). 120

Figura 51. Espectro FTIR de Polietileno de baja densidad (LDPE). 121

Figura 52. Espectro FTIR de Polimetilmetacrilato (PMMA). 122

Figura 53. Espectro FTIR de Poliestireno (PS). 123

Figura 54. Mapa de ubicación PTAR ML – Ilo. 135

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Codificación para plásticos 97

Anexo 2. Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR). 91

Anexo 3. Materiales, reactivos y equipos requeridos 93

Anexo 4. Caracterización de MPs por tamaño, morfología y color 95

Anexo 5. Código de abreviatura de polímeros 98

Anexo 6. Programa de muestreo de agua residual - PTAR-ML 101

Anexo 7. Resumen de estudios anteriores 102

Anexo 8. Matriz de consistencia 103

Anexo 9. Panel fotográfico ejecución de tesis 104

Anexo 10. Espectros infrarrojos y espectros de referencia 113

Anexo 11. Informe de análisis espectrométrico 124

Anexo 12. Mapa de ubicación de PTAR-ML Ilo 135

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

MPs Microplásticos

FTIR Fourier transform infrared spectroscopy (Espectroscopia infrarroja por transformación de Fourier, por sus siglas en inglés)

ATR Attenuated total reflection (Reflexión total atenuada, por sus siglas en inglés)

EPS ILO Empresa prestadora de servicios de saneamiento Ilo

MINAM Ministerio del ambiente

SUNASS Superintendencia nacional de servicios de saneamiento

ONU Organización de las naciones unidas

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional de Océano y Atmósfera, por sus siglas en inglés)

MSFD Marine strategy framework directive (Directiva marco de estrategia marina, por sus siglas en inglés)

MERI Marine and environmental research institute (Instituto de investigación marina y ambiental, por sus siglas en inglés)

SCS Standardized size and color sorting system (Sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color, por sus siglas en inglés)

PTAR Planta de tratamiento de aguas residuales

EDAR Estación depuradora de agua residual

ASTM American society for tesitng and materials (Sociedad americana para pruebas y materiales, por sus siglas en inglés)

CAS Chemical abstracts service (Servicio de resúmenes químicos, por sus siglas en inglés)

PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PA	Poliamida
PVC	Policloruro de vinilo
PS	Poliestireno
PMMA	Polimetilmetacrilato
LDPE	Low density polietileno (Polietileno de baja densidad, por sus siglas en inglés)
HDPE	High density polietileno (Polietileno de alta densidad, por sus siglas en inglés)
PET	Polietileno tereftlato
PES	Poliéter sulfona
PC	Policarbonato

INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo pasado, la producción de materiales de plástico ha tenido un crecimiento superior al de otros insumos, esto ha ido de la mano del cambio de producción de materias plásticas duraderas a las desechables (ONU, 2018). Tal cual lo indica su nombre, el plástico de un solo uso es un producto desechable que está diseñado para usarse una vez y luego prescindirse; productos tales como envases de bebidas hasta cintas de embalaje, rasuradores y bolsas de acarreo; infinidad de productos que seguidamente de su uso son descartados (Vermillion, 2020).

En el mundo, el 50% del total de los residuos plásticos son materiales fácilmente desechables, en nuestro planeta, de forma anual, se consumen 5 billones de bolsas plásticas (ONU, 2018).

Una definición integral para la conceptualización de microplásticos (MPs) es la señalada por Frias y Nash (2019): “Todo material de naturaleza sintética y sólida, de dimensiones entre 1 µm a 5 mm, ya sea primario o secundario, insoluble en agua” (p. 146). Factores principalmente mecánicos y foto-oxidativos desintegran materiales de plástico mayores en pedazos cada vez más pequeños reconocidos como MPs (Singh & Sharma, 2008). Los MPs producto de factores mecánicos y foto-oxidativos son llamados secundarios y los fabricados en tamaños diminutos son llamados primarios (Eerkes-Medrano et al., 2015).

Los MPs al llegar a un medio acuático, podrían ser engullidos por diferentes especies, dependiendo del tamaño del MPs (Gall & Thompson, 2015), y pudiendo llegar al ser humano al consumirlos. El problema del impacto biológico en la ingesta de MPs está bien descrita (Leslie et al., 2017), y se centra tanto en el daño o bloqueo físico que estos microcontaminantes puedan

causar sobre el tracto digestivo del animal que los ingiere, así como en la lixiviación de los componentes químicos que constituyen dicho plástico junto con los contaminantes que haya podido adsorber (Bayo et al., 2017).

Es importante la función de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) en la contención de Microplásticos (MPs), pero a la vez son accesos de los mismos al medio acuático (Magnusson y Norén, 2014). A pesar de la importante capacidad de retención de MPs de las PTAR, por los grandes volúmenes de agua residual que tratan, estas son considerables fuentes de este contaminante (Talvitie et al., 2015). Cabe mencionar que las técnicas con las que se tratan las aguas residuales en la actualidad, no están diseñadas para retener materiales diminutos (Mintenig et al., 2017).

La empresa prestadora de servicios de saneamiento ILO, administra la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Media luna (PTAR-ML) desde 1994, esta planta funciona a través de lagunas de estabilización, presenta una laguna primaria aireada, dos lagunas secundarias facultativas y dos lagunas terciarias facultativas; está situada en inmediaciones de la playa Media Luna, en el distrito de Pacocha de la provincia de Ilo (EPS ILO, 2010). Según memorias anuales publicadas por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS-ILO), el promedio anual de volumen tratado de agua residual desde el año 2015 al 2020 es de 3’079,388 m^3, el efluente de la PTAR-ML se emite a playa Media Luna. Se decidió atender la necesidad de conocer la situación de la presencia de MPs en la PTAR-ML, determinar su identidad polimérica, características físicas y cuantificación. La información producto de la presente investigación podría servir de base para desarrollar investigaciones más específicas y desarrollo de planes de gestión ambiental sobre el tema.

PRESENCIA DE MPs EN AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR MEDIA LUNA - ILO

I. Problema de investigación

1.1. Formulación del problema

La amplia distribución de microplásticos (MPs) está despertando un gran interés por la ciudadanía e investigadores, antes enfocada claramente a los macroplásticos. Los MPs, como fibras y fragmentos, efecto de la desintegración de plásticos, son considerados por sí mismos, un nuevo tipo de contaminante (Ryan, Moore, Franeker, y Moloney, 2009).

En el año 2017 a nivel mundial se produjeron 348 millones de toneladas, 3,73% más que el año anterior, casi tres cuartas partes de la demanda de plásticos se centra en Alemania, Italia, Francia, España, Reino Unido y Polonia (López-Castellanos y Bayo, 2019). A nivel nacional, cada ciudadano consume alrededor de 30 kg de plástico. En cuanto al consumo de bolsas plásticas en el país, al año se consumen 3000 millones de bolsas plásticas, expresando el consumo en tiempo serían alrededor de 5700 bolsas por minuto (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017). Por su composición molecular el plástico no se biodegradado, mas sí puede desintegrase mediante diferentes factores físicos y/o fotoquímicos; en un proceso lento los plásticos se convierten en fragmentos cada vez más y más pequeños reconocidos como microplásticos (ONU, 2018).

Por la gran producción y consumo, el MPs es considerado un contaminante emergente, uno de los más importantes en constante incremento, el cual ocasiona gran variedad de impactos ambientales (Murray, 2009). Los impactos suceden al ser introducidos al cuerpo receptor, esencialmente cuando llega a ríos, lagos o al mar, esto porque pueden ser engullidos por diferentes especies (Gall y Thompson, 2015), a la vez, por la ingesta de estos, puede llegar al hombre. En la actualidad se entiende que alrededor de 250 especies, entre ellas aves marinas,

peces, mamíferos marinos y tortugas, son afectados por tragar accidental o erradamente MPs (Ugolini et. al, 2013).

Ante este panorama mundial y nacional, el masivo consumo de productos de plástico y déficit de información en cuanto a MPs, es notable que los MPs están provocando un impacto al medio ambiente, diferentes especies y salud humana. A la vez existen vacíos de investigación, social y regulatorios sobre el tema (De-la-torre, 2019). Un trabajo científico como el presente no se ha desarrollado en el país, fue necesario abordar el tema, y de ese modo de forma aproximada levantar información referente.

La presente aporta información base sobre MPs en agua residual de la PTAR-ML, se desarrolló la presente para levantar información sobre la presencia de este contaminante emergente, se proyectó determinar presencia de MPs tanto en la fracción líquida como acuosa, pero por inconvenientes provocados por la emergencia sanitaria sólo se analizó presencia de MPs en la fracción líquida. La información recabada podría servir de base para desarrollar investigaciones más específicas y para desarrollar investigaciones más específicas y desarrollo de planes de gestión ambiental sobre el tema.

La pregunta de investigación se estableció de la siguiente manera:

¿Cómo es la presencia de microplásticos en el agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales media luna?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

Los MPs primarios y secundarios llegan a las aguas residuales provenientes de artículos de limpieza y cuidado personal, así como del lavado de indumentaria sintética, además de otras actividades, estos presentan tamaños menores a 5 mm, al llegar a un cuerpo de agua, estos son ingeridos por diferentes organismos acuáticos, como peces, organismos filtradores, incluso el plancton.

Según memoria anual 2020 publicada por la EPS ILO S.A., ese año en la provincia de Ilo se generó poca más de 3.5 millones de m^3 (Ver **Tabla 2**), y la generación de la misma viene en aumento debido a la vez al incremento de la población y conexiones domiciliares de agua potable. Además, debido al alto consumo de materiales de plástico e insumos que contienen MPs, es que se considera relevante realizar la presente investigación, ya que es de especial interés conocer datos sobre los MPs que posiblemente estén llegando al medio acuático a través de la PTAR-ML.

El objetivo de la investigación fue obtener información sobre la presencia de microplásticos en el agua residual de la PTAR-ML, como parte de ello se determinó las características físicas, identidad y cuantificación. La conclusión de la presente investigación dio luces sobre la presencia de microplásticos en el afluente y efluente de la PTAR-ML, los datos recabados podrían servir de base para el desarrollo de investigaciones más específicas y/o para el diseño de planes de concientización sobre el consumo de ciertos materiales e insumos que presentan partículas de plástico en su composición.

1.3. Objetivo de investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la presencia de microplásticos en el agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales Media Luna de la provincia de Ilo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar la composición polimérica de microplásticos presentes en muestras de agua residual.
- Caracterizar físicamente microplásticos.
- Cuantificar microplásticos.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Nacionales

En el país, aún no hay antecedente sobre determinación de MPs en plantas de tratamiento de aguas residuales, mas sí existen investigaciones relacionadas, las cuales se detalla a continuación:

Purca y Henostroza (2017), Evaluaron la presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas del territorio nacional: Vesique, Albúfera de Medio Mundo, playa Costa Azul -Ventanilla y playa El Chaco. Establecieron dos transeptos en cada playa, en cada uno se determinó 3 cuadrantes de 0.5 x 0.5 metros. Encontrando que microplástico duro mayor a 1 mm constituyó más del 80% en cada muestra. El microplástico duro hallado son de tipo plásticos secundarios. El análisis Infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR por sus siglas en inglés) determinó que

de 10 fracciones de microplástico halladas en playa Costa Azul, cinco son poliuretano, uno estireno y otra espuma de estireno.

Rios (2017), determinó la caracterización e identificó el origen de los microplásticos en el balneario “Costa Azul” en el distrito de Ventanilla. Para ello estableció puntos para la toma de muestra paralelas a la orilla, 9 parcelas de 1 m^2 x 0.05 m de profundidad. El análisis FTIR determinó polietileno y polipropileno. Identificó al río Chillón y diferentes actividades antrópicas como posible fuente microplástico en el balneario de “Costa Azul”.

Manrique (2019), determinó la presencia de MPs en sedimentos superficiales de la desembocadura del río Jequetepeque (La Libertad), a la vez identificó el tipo de polímero y clasificación según sus características morfológicas. De las cuatro estaciones de muestreo, sólo en la estación E4 se halló MPs, un total de 18 ítems en el rango de 500 µm – 1 mm. Dos ítems en muestra de lecho de río y 16 en muestra de orilla de río. De los MPs aislados en la estación E4, solo 2 ítems se hallaron en la muestra de 100 g proveniente del lecho del río y 16 de la muestra de 100 g proveniente de la orilla del río. De todos los ítems de MPs, 50,0 % fue identificado como PE, 44,4 % como PP y 5,6 % como PS.

2.1.2. Internacionales

Ferrari (2019), analizó la presencia y tipo de MPs en aguas residuales del municipio de Campo Mourão, Paraná - Brasil. Para ello colectó 40 L de agua residual en el influente y afluente de la PTAR del municipio de Campo Mourão. Encontró que, el tipo de MPs con mayor presencia en aguas residuales crudas y tratadas son los MPs secundarios, especialmente fibras sintéticas que componen los tejidos.

Ding, An, Yin, y Sun (2020), evaluaron la presencia y características de MPs, especialmente microesferas en aguas residuales de una PTAR en Beijing China, para ello previamente se evaluó diferentes métodos de digestión de microesferas presentes en 4 productos de cuidado personal, concluyendo que la digestión enzimática es la más eficaz. Identificando la presencia de MPs en diferentes fases del tratamiento del agua residual de la planta de tratamiento, como la pantalla fina, cámara de arena y los procesos del Reactor Biológico Secuencial (SBR por sus silgas en inglés), concluyeron que la planta es capaz de eliminar el 72% de microesferas y 43% de MPs total.

Carr, Liu, y Tesoro (2016) evaluaron las descargas de efluentes de siete PTAR de tratamiento terciario y una PTAR de tratamiento secundario, ubicadas en el sur de California. Examinaron también las cargas influyentes, el tamaño y tipo de ítems, el transporte y la efectividad de retención de MPs de estos tratamientos. Los resultados sugieren que las PTAR de tratamiento terciario no son una fuente significativa de MPs, ya que estos son retenidos durante el proceso; sin embargo, en la PTAR de tratamiento secundario, se determinó en promedio 01 ítem de MPs por cada 1140 L de efluente.

Cabrera (2019), evaluó la fracción líquida y sólida de agua residual de la PTAR El Trocadero en España. Para ello tomó muestras en el influente y efluente, 10 L y 30 L respectivamente, además 25 g de la fracción sólida. En la fracción líquida se halló en mayor cantidad MPs entre 100 – 350 µm, tanto en el influente y efluente; y en mayor proporción fueron MPs en forma de copos de polietileno. En la fracción sólida se hallaron MPs entre 100 - 5000 µm, por su forma mayormente se halló copos y por su identidad mayormente se encontró etileno-ácido acrílico. La evaluación determinó que la PTAR el Trocadero muestra gran porcentaje de

eliminación de MPs, mas debido a los volúmenes de procesamiento de la planta se estima que se liberan al medio marino 381.923 millones de MPs al año.

Xu, Jian, Xue, Hou, y Wang (2019), investigaron la presencia de MPs en el influente y efluente de once PTAR de Changzhou - China, además analizaron la abundancia, el tamaño, el color y la forma de los MPs. La media la abundancia de MPs en el influente y el efluente fue de 196.00 ± 11.89 $MPs.L^{-1}$ y 9.04 ± 1.12 $MPs.L^{-1}$ respectivamente, la eficacia de eliminación de MPs de las once PTAR analizadas fue mayor al 90%, llegando en unas al 97,15%. Los MPs se dividieron en cuatro tamaños el más abundante se concentró principalmente de 0.1 a 0.5 mm. Entre estos parámetros, las fibras fueron la forma principal de MPs; utilizando Reflexión Total Atenuada - Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (ATR-FTIR) se detectaron 14 tipos de plásticos, el Rayón y Tereftalato de polietileno (PET) fueron los hallados en mayor abundancia.

Park et al. (2020), evaluaron la presencia de MPs en cincuenta PTAR de Korea. Se hallaron MPs en todas las PTAR evaluadas, los análisis de los MPs revelaron que las fibras termoplásticas y sintéticas predominan en las PTAR evaluadas. La concentración varió entre 10 y 470 $MPs.L^{-1}$ en el influente y 0.004 a 0.51 $MPs.L^{-1}$ en el efluente. La eficiencia de eliminación de MPs se calculó en 98.7 a 99.99% en 31 PTAR. Las PTAR que utilizan procesos avanzados de eliminación de fósforo mostraron una mayor eficiencia de eliminación que aquellos que no contemplan este proceso.

Gies et al. (2018), valuaron la presencia, retención e identificación de MPs en una PTAR ubicada en Vancouver – Canadá. Tomaron muestras del influente y efluente primario y secundario, muestras de lodo primario y secundario. El análisis espectrométrico (FTIR) mostró

que el 32,4% de los MPs sospechosos eran polímeros plásticos. Usando el FTIR corregido estimaron que 1,76 ± 0,31 billones de MPs ingresan a la PTAR anualmente, 1,28 ± 0,54 billones de MPs se asienta en el lodo primario, 0,36 ± 0,22 se asientan en el lodo secundario, y 0,03 ± 0,01 billones de MPs son liberados al medio ambiente. Esto corresponde a una retención de MPs de hasta el 99%.

Gündoğdu, Çevik, Güzel, y Kilercioğlu (2018), determinaron la presencia de MPs en dos PTAR en Turquía, Seyhan y Yüreğir, tomaron muestras de agua influyente y efluente de cada una, determinaron en el agua residual influente de 1 millón - 6.5 millones de ítems por día, mientras que el efluente de 220,000 - 1.5 millones de ítems por día. La tasa de eliminación de MPs se encontró entre 73 y 79%. En total, se detectaron siete tipos diferentes de polímeros, el poliéster fue el de mayor frecuencia.

Magni et al. (2019), evaluaron MPs en una de las mayores PTAR del norte de Italia, determinaron la presencia de MPs en el agua residual influente, después del asentador y en el efluente, a la ves los MPs los caracterizaron por forma, tamaño e identidad utilizando análisis FTIR. En el influente detectaron 2.5 ± 0.3 $MPs.L^{-1}$, 0.9 ± 0.3 $MPs.L^{-1}$ después del asentador y 0.4 ± 0.1 $MPs.L^{-1}$ en el efluente, indicando una eficiencia de eliminación total del 84%. Agregaron que considerando que la PTAR trata alrededor de 400 millones de litros de agua residual por día, la liberación estimada de MPs al medio acuático es de 160 millones de MPs/día, principalmente poliésteres (35%) y poliamida (17%).

.Hidayaturrahman y Lee (2019), evaluaron la presencia remoción de MPs de las diferentes etapas del tratamiento en tres PTAR en Indonesia. Concluyeron que la remoción de MPs en las tres PTAR fue mayor al 98%. La cantidad de MPs decrece significativamente después

del tratamiento primario y secundario en el rango de 75.0% - 91.9% respectivamente. Las microesferas fueron la forma más abundante de MPs.

2.2. Bases teóricas

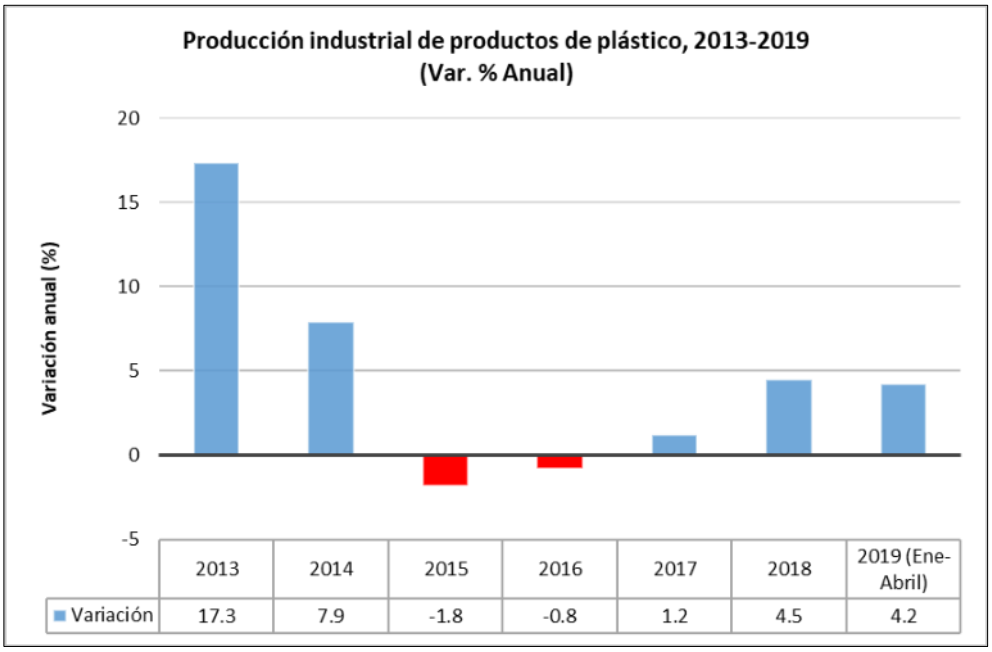
2.2.1. Industria del plástico en el Perú

Sánchez (2017), señala que esta industria se ha desarrollado en gran parte por la versatilidad de la materia prima, consiguiendo productos intermedios y/o finales los cuales son de amplio uso en distintas sectores productivos. Con el Índice de Volumen Fijo (IVF) se evalúa la dinámica de la industria, la cual en los años 2015 y 2016 ha tenido negativas tasas de crecimiento, las causas se estas se le da al poco crecimiento del sector construcción, más se calcula que el IVF se vaya recuperando a 2,6 % anual a finales del 2017, ya que se ejecutarán diversos proyectos urbanos, como reformación de sistemas de conexión domiciliaria de agua y redes de saneamiento. También se prevé mayor demanda de envases plásticos por la industria de líquidos embotellados no alcohólicos.

Según la Sociedad Nacional de Industrias (SNI, 2019), en el 2018 el sector tuvo el crecimiento más alto desde el 2014, alcanzó el 4,5%. La alta demanda interna por materiales de plástico para obras de infraestructura, materiales para transportar, embalaje y envasado fueron los rubros que principalmente absorbieron la demanda. La demanda externa fue otro factor que promovió la producción de plástico al incrementarse en 16% en relación al año 2017. Así mismo la producción de plástico subió 4.2% a inicios del año 2019, en relación al año 2018 (Ver **Figura 1**), esto se debió especialmente al aumento de la demanda de cintas de plástico, láminas, producción de placas y tubos.

Figura 1

Producción Industrial de productos de plástico 2013 - 2019

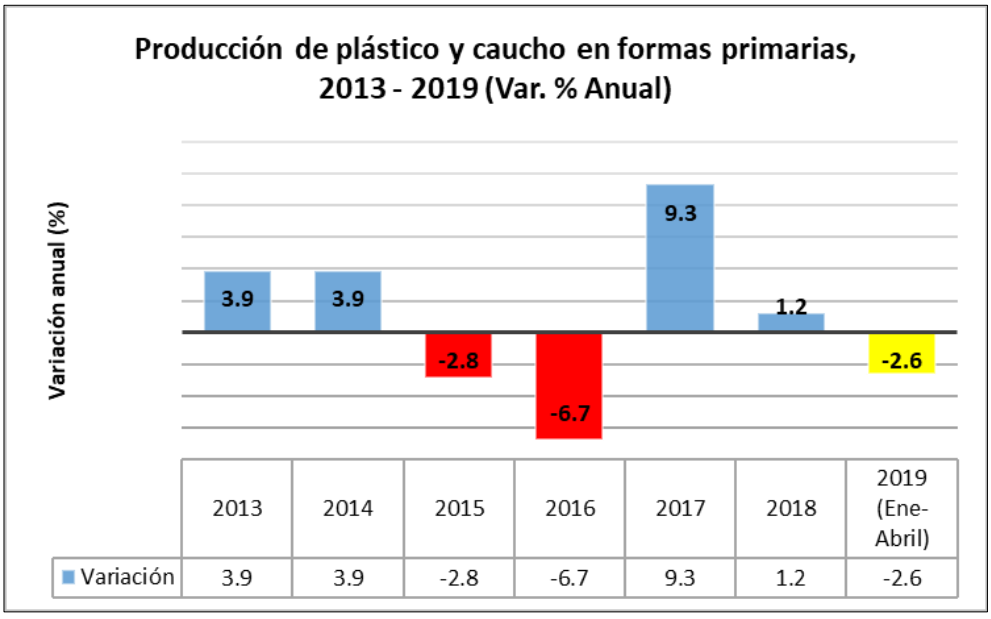


Fuente: Adaptado de Salazar (2016)

De la misma forma, las formas básicas del plástico y el caucho, la cual alcanza la elaboración de resinas, formas primarias de polímeros y poliamidas, se incrementó 1.2% en el año 2018, pero en se redujo 2.6% a inicios del año 2019 (Ver **Figura 2**).

Figura 2

Producción de plástico y caucho en formas primarias



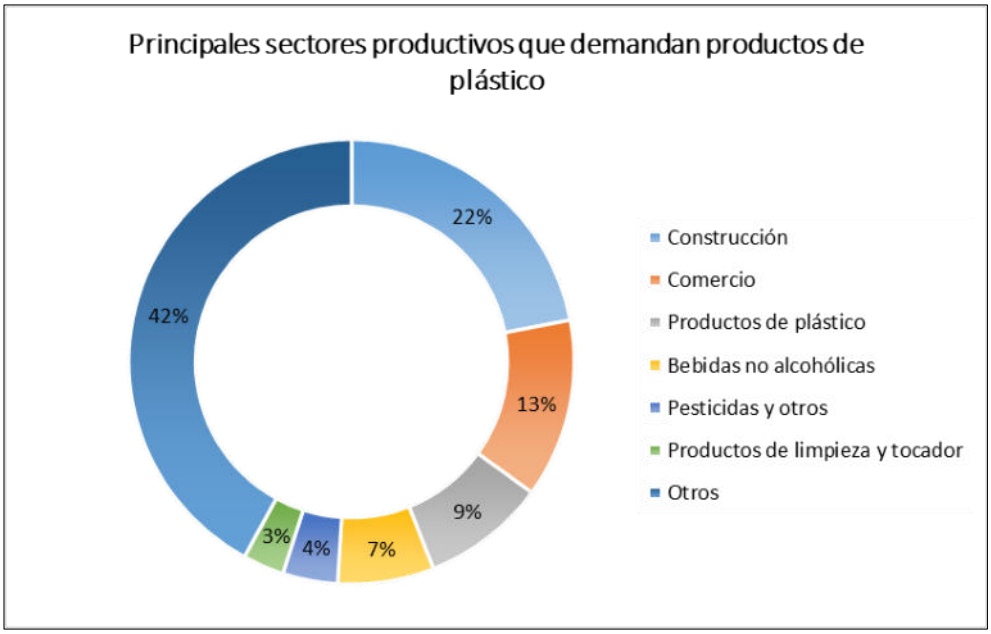
Fuente: Adaptado de Sociedad Nacional de Industrias (2016)

La Sociedad Nacional de Industrias (2019) refiere que la producción industrial de productos de plástico se dirige principalmente al sector construcción con una participación del 22%. La relevancia de este sector radica en que necesita abastecerse de una vasta cantidad de productos de plásticos como materiales termoestables, entre ellos, las resinas epoxi, poliéster, etc.; que son utilizados en la construcción de puentes y edificios; y aquellos materiales ubicados al interior de las viviendas como por ejemplo productos de plásticos que sirven como aislantes, para la conducción de electricidad, canaletas, tuberías, etc. Otra importante actividad que impulsa la producción industrial de plásticos es el sector comercio que demanda el 13% del total de productos fabricados orientados a la actividad empresarial. Asimismo, le sigue en orden de importancia la demanda de la industria que fabrica otros productos de plástico (9% de

participación); la industria que elabora bebidas no alcohólicas (7%); la que fabrica pesticidas y otros productos químicos (4%) y la industria dedicada a la elaboración de productos de limpieza y de tocador (3%), entre los sectores más importantes (Ver **Figura 3**).

Figura 3

Demanda de productos plásticos por sector



Fuente: Adaptado de Sociedad Nacional de Industrias (2016)

En los últimos diez años ha habido un incremento significativo en la importación de bienes de plástico manufacturados, semimanufacturados y formas primarias. Especialmente el Perú importa formas primarias de productos de plástico, la adquisición de esta materia prima sumó US$ 1534 millones en el año 2018, esto significó el 68.2% del total de materiales de plástico adquiridos del extranjero, en volumen significaron 1.1 millones de toneladas. Llegando a la mitad del año 2019, la importación de formas primarias fue menor a la correspondiente del año 2018,

la cifra fue de 5.4% (Ver **Tabla 1**). Mas se registró incremento de envíos referente a volumen, 456,000 toneladas, lo cual significa un incremento del 2.6% (SNI, 2019).

Tabla 1

Importación de plástico en formas primarias

Importaciones de plástico en formas primarias

Productos	Millones US$ - Costo Seguro y Flete (Cost Insurance and Freight - CIF)					Miles de Toneladas				
	2017	2018	Enero - Mayo			2017	2018	Enero - Mayo		
			2018	2019	Var.%			2018	2019	Var.%
Polímeros de etileno	385.1	475.9	194.5	177.1	**-8.9**	299	344	138	151	**9.4**
Poliacetales, demás poliéteres y resinas	208.6	286.1	110.8	131.8	**19.0**	168	189	79	94	**17.9**
Polímeros de propileno	296.7	385.9	164.5	131.0	**-20.4**	245	269	116	101	**·12,9**
Polímero de cloruro de vinilo	145.5	140.1	60.0	54.9	**-8.4**	152	149	64	60	**·5,2**
Polímeros acrílicos	67.3	71.4	29.7	27.7	**-6.7**	33	33	14	13	**·5,1**
Polímeros de estireno	57.7	59.2	24.3	23.9	**·1,6**	38	36	15	17	**16.0**
Celulosa y sus derivados químicos	26.5	33.0	12.8	13.9	**8.6**	8	11	4	5	**17.7**
Resinas amínicas	31.4	29.9	12.4	12.8	**3.0**	11	10	4	4	**4.8**
Siliconas	10.9	13.9	5.2	6.0	**14.4**	3	3	1	1	**-8.3**
Resinas de petróleo	11.0	12.7	6.1	5.9	**-3.4**	9	10	5	5	**-6.7**
Otros productos	23.5	25.7	12.1	13.0	**7.2**	8	8	4	4	**18.8**
Total	**1264**	**1534**	**632**	**598**	**-5.4**	**973**	**1062**	**444**	**456**	**2.6**

Fuente: adaptado de Salazar (2016)

2.2.1.1. Clasificación internacional de plásticos

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Mateirals - ASTM), la cual es una organización de desarrollo de normas para materiales y equipos de diversa índole, desde 2008 la ASTM asumió el control de codificación para la identificación de

plásticos; en el año 2013 ASTM decide cambiar la forma de identificar los plásticos comúnmente utilizados (Crawford y Quinn, 2016), por los símbolos que figuran en **tabla 17**, determinando de ese modo el forma de simbolizar el tipo de plástico según su composición química.

2.2.2. Plantas de tratamiento de aguas residuales

Los procesos por los cuales se tratan las aguas residuales comprenden de una serie de operaciones químicas y físicas, así como biológicas, sea el proceso o el conjunto de procesos que se utilicen, su fin el mismo depurar el agua residual en las condiciones correctas para darle un aprovechamiento o para darle un destino final (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009).

En el año 2015 se publicó el diagnóstico de las PTAR en el Perú, en el cual la SUNASS (2015), refiere que en el Perú, en la esfera de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), se cuenta con 204 plantas de tratamiento de agua residual construidas y otras en proceso de construcción, 172 construidas y 32 en proceso, dentro de las PTAR en construcción 13 se encuentra detenida la construcción y 19 se están construyendo. El número de PTAR administradas por las EPS es de 144, 19 llevan proceso para ser administradas por una EPS y 9 no operan debido a conflictos con la población aledaña y dificultades técnicas, entre otras causas. En términos de porcentaje de PTAR por región, en la costa se ubican el 82% y la costa norte reúne poco más del 50% (Ver **tabla 18**).

2.2.3. Niveles de tratamiento de aguas residuales

Según el resultado final que se considere para el agua residual, este modificará su composición del sistema de tratamiento, a mejor calidad del agua residual tratada, más complejo será el tratamiento de la misma. Existen muchos técnicas y sistemas de tratamiento del agua residual, por ello es adecuado abordar el tema por niveles de tratamiento. Los cuales se clasifican

desde el nivel más básico hasta el más complejo (MINAM, 2009); en **figura 4** se detalla las características principales de los diferentes niveles:

2.2.3.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar

El nivel de pretratamiento, según MINAM (2009), “Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices”.

2.2.3.2. Tratamiento primario

De forma general, se llama tratamiento primario al sistema que mediante diferentes técnicas retiene material suspendido en la columna de agua, mas no coloides y/o sustancias disueltas. En este nivel de pretratamiento se puede retener entre 60% – 70% de material suspendido, a la vez retener alrededor del 30% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) precipitable del agua residual (MINAM, 2009).

2.2.3.3. Tratamiento secundario

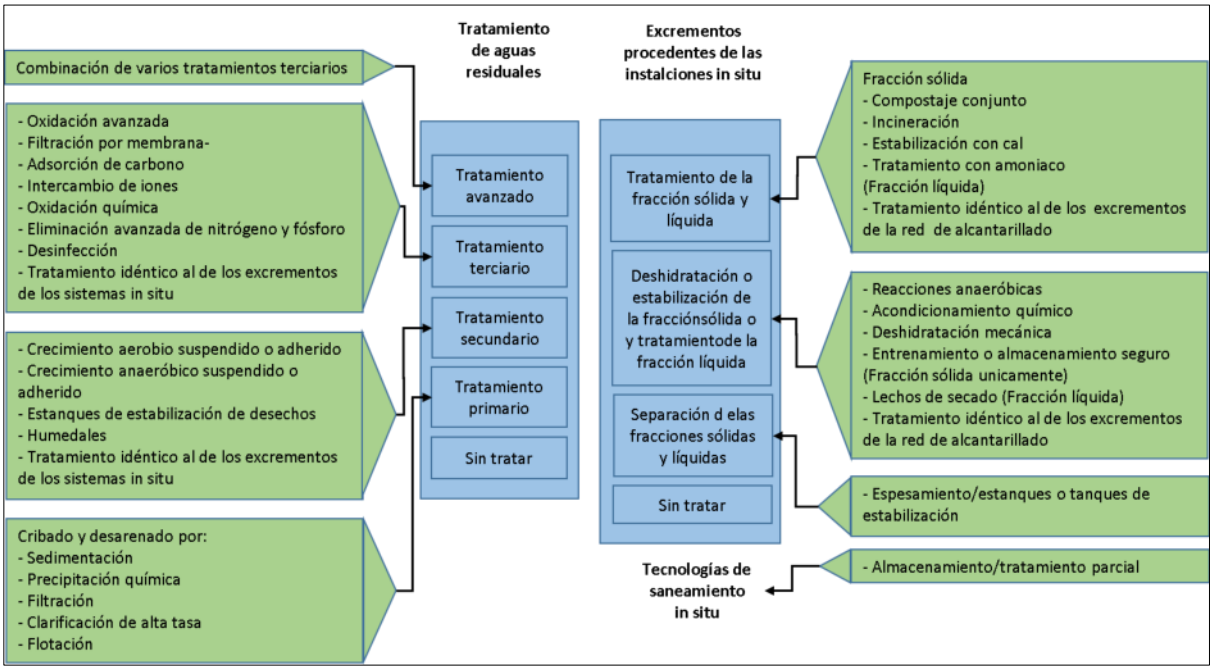
MINAM (2009) refiere que “El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de DBO, entre el 50% al 95%”. Entre los sistemas más utilizados tenemos a los lodos activados, lagunas facultativas y aireadas; pero también existen otros sistemas como la filtración biológica, biodiscos y filtros percoladores.

2.2.3.4. Tratamiento terciario

Para desarrollar un nivel de tratamiento terciario es necesario establecer qué se proyecta hacer con el agua resultante, si se le dará un uso o destino final. El objetivo de este nivel es remover diferentes nutrientes, entre ellos el nitrógeno y el fósforo; se considera estos nutrientes ya que podrían causar aumento poblacional de algas o eutrofización en los cuerpos receptores destino del agua residual tratada, disminuyendo el oxígeno disuelto y de ese modo impactar negativamente la dinámica biológica, además de otros aspectos del cuerpo receptor y/o su entorno. El agua residual resultante del tratamiento terciario se puede emplear para irrigación, recarga de acuíferos, consumo industrial, entre otras aplicaciones. Los procesos más utilizados con la ósmosis inversa, precipitación química, filtración y destilación (MINAM, 2009).

Figura 4

Descripción de los tipos de tratamiento de agua residual



Fuente: Adaptado de Organización de las Naciones Unidas (2020)

2.2.4. Planta de tratamiento de aguas residuales Media Luna – EPS ILO

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la Provincia de Ilo, ubicada frente a playa Media Luna en el distrito de Pacocha, se realiza mediante la oxidación de la materia orgánica, para ello cuenta con 01 laguna aireada y 04 lagunas facultativas. “La infraestructura de la PTAR fue construida en 1994, diseñada para tratar un caudal máximo de 280 mg/L de Demanda Biológica de Oxígeno durante 5 días (DBO_5), para una remoción de 80% de la carga total a la salida de planta (EPS ILO, 2012). En figura 9 se muestra las etapas del proceso de tratamiento de agua residual en la PTAR ML. A continuación, se describirá el proceso de tratamiento de agua residual por etapa en la PTAR Media Luna:

2.2.4.1. Buzón de Ingreso, cámara de rejas y desarenadores

Las aguas residuales generadas en la provincia de Ilo confluyen en un ducto principal llamado emisor caduceo (24” Ø), que transporta el fluido hasta el buzón de ingreso a la PTAR, en esta parte el agua residual continua por un canal abierto en donde se halla la cámara de rejas metálicas de 0.6 x 1.0 m, el cual se limpia cada hora los sólidos gruesos que va reteniendo. Luego el agua residual pasa por 02 desarenadores longitudinales que miden aproximadamente 10 x 2 m, los cuales retiene granos mayores a 0.2 mm de Ø, a medida que fluye el agua residual los desarenadores reducen gradualmente su ancho para finalmente seguir por un canal abierto hasta la laguna aireada. Mediante una línea de conducción, el material retenido, es descargado al mar sin ningún tratamiento. Desde el año 2016, para reducir la emanación de olores se viene añadiendo biocatalizadores, 25 kg/día (Pachari, 2020).

2.2.4.2. Laguna Primaria Aireada

Esta laguna, al igual que las lagunas facultativas de la PTAR Media Luna tiene forma de tronco de pirámide, su dimensión superficial es de 150 x 83 m, con una profundidad útil de 3.6 m, tiene como objeto remover hasta un 75% de la materia orgánica" (Pachari, 2020). En la actualidad el sistema de aireación no viene funcionando, en la práctica funciona como una laguna anaerobia. El área y volumen aproximado de cada una de estas lagunas es de 24,723 m^2 y 19,237 m^3 respectivamente.

2.2.4.3. Lagunas Secundarias Facultativas

Estas lagunas también presentan forma de tronco de pirámide, están ubicadas paralelamente, cada una presenta una dimensión superficial de 200 x 65 m con una profundidad máxima de 1.8 m. Ambas lagunas tienen un recubrimiento de geo membrana de polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés) de 1 mm de espesor. La función de estas lagunas facultativas es retener la materia orgánica remanente de la laguna aireada. Mediante un sistema de canalización el agua residual pasa de la laguna aireada a las 02 lagunas facultativas (Pachari, 2020). El área y volumen aproximado de cada una de estas lagunas es de 26,360 m^2 y 8,413 m^3 respectivamente.

2.2.4.4. Lagunas Terciarias Facultativas

Al igual que las lagunas facultativas secundarias, estas lagunas presentan las mismas dimensiones de largo y ancho y una profundidad de 1.8 m, impermeabilizadas también con geo membrana de polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene - HDPE) de 1 mm de espesor. Esta laguna cumple función de una laguna de pulimento, propia de un tratamiento

terciario (Pachari, 2020). El área y volumen aproximado de cada una de estas lagunas es de 26,360 m^2 y 8,413 m^3 respectivamente.

2.2.5. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas cuyos parámetros físico-químicos han sido alterados por diferentes actividades humanas, por ello requieren de un tratamiento previo antes de ser vertidas al sistema de alcantarillado, descargadas a un medio receptor (Río, lago, mar) o ser reaprovechadas en alguna actividad productiva (OEFA, 2014).

Se clasifican según su procedencia, pueden ser aguas residuales domésticas, de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente; las aguas residuales municipales son la suma de aguas residuales domésticas, aguas de drenaje pluvial o aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado; y finalmente las aguas residuales industriales, estas resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014).

La Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento (SUNASS, 2015), afirma que hasta el año 2013, dentro de la esfera de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, 17.5 y 16 millones de habitantes gozaban de servicios básicos, conexión domiciliaria de agua potable y alcantarillado, respectivamente. Según información proporcionada por las EPS, la producción de agua potable por día fue de 3.78 millones de m^3, equivalente a 216 L/hab/día (Litros por habitante por día). Se estima un vertimiento de agua residual a la red de

alcantarillado de 162 L/hab/día, es el volumen de agua residual que necesita tratarse antes de su reutilización o destino final.

Según memorias anuales publicadas por la Empresa Prestadora de Servicios de saneamiento ILO, se muestra la generación de aguas residuales en la provincia de Ilo, desde el año 2015 al 2020, el año 2015 en la provincia de Ilo se generó 3’864,813 m^3 de agua residual, en el año 2020 se generó 3’561,790 m^3 (Ver **Tabla 2**), generalmente hay un descenso del volumen de generación a pesar que existe un incremento de conexiones domiciliares de agua potable y a la vez un incremento poblacional (EPS ILO, 2018).

Tabla 2

Generación de aguas residuales – Provincia de Ilo

Generación de aguas residuales – Provincia de Ilo						
Año	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Aguas residuales generadas (m^3)	3’864,813	4’032,625	3’866,704	4’021,447	3’658,343	3’561,790

Fuente: Elaboración propia - Reportes Anuales EPS ILO.

En Perú se ha regulado la emisión de diferentes elementos al medio ambiente, mediante el establecimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Los LMP se definen como, “la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente” (MINAM, 2010). Esta norma establece el LMP para la descarga de efluentes de una PTAR a un cuerpo receptor, la misma limita la emisión de

diferentes parámetros en aguas residuales, detallados en **tabla 3**; mas esta norma ni otra en el Perú establecen límites de emisión de microplásticos al medio ambiente.

Tabla 3

Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas residuales

Parámetro	**Unidad**	**LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua**
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP[1]/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 – 8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. [1]Número más probable

Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

2.2.6. Microplásticos

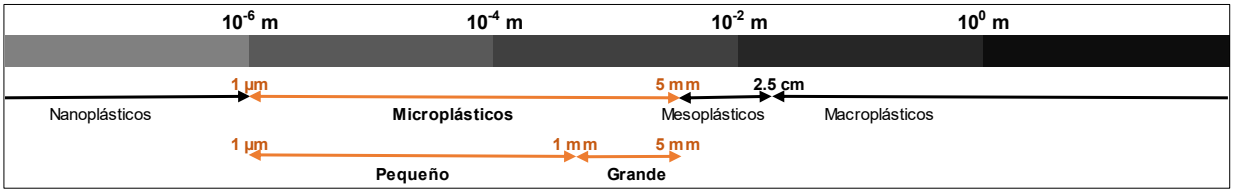
Thompson et al. (2004) utilizaron por primera vez el término “microplásticos” para reseñar fragmentos de plásticos de dimensiones cercanas a 20 µm. Los microplásticos (MPs) están definidos como: “Cualquier partícula sólida sintética o matriz polimérica, con forma regular o irregular y con un tamaño que varía de 1 µm a 5 mm, ya sea de origen primario o secundario, que son insolubles en agua” (Frias y Nash, 2019).

Los MPs se clasifican según sus características físicas: Forma, color y tamaño, este último es de mucha importancia debido a que por el tamaño del MPs podría deducirse el rango de organismos que podría afectar en caso sea ingerido.

Para la presente investigación se utilizará la clasificación de MPs de la Directiva Marco de la Estrategia Marina (MSFD por sus siglas en inglés), de la Unión Europea para el monitoreo y la implementación de directivas, la cual especifica el rango de tamaño para microplásticos, el cual es de 1µm – 5 mm (Ver **Figura 5**).

Figura 5

Clasificación de los MPs por tamaño según el Subgrupo Técnico en Basura Marina de la MSFD. Los microplásticos (MPs) comprenden de dos subcategorías: MPs pequeños (menores a 1 mm) y MPs grandes (entre 1 mm y 5 mm).

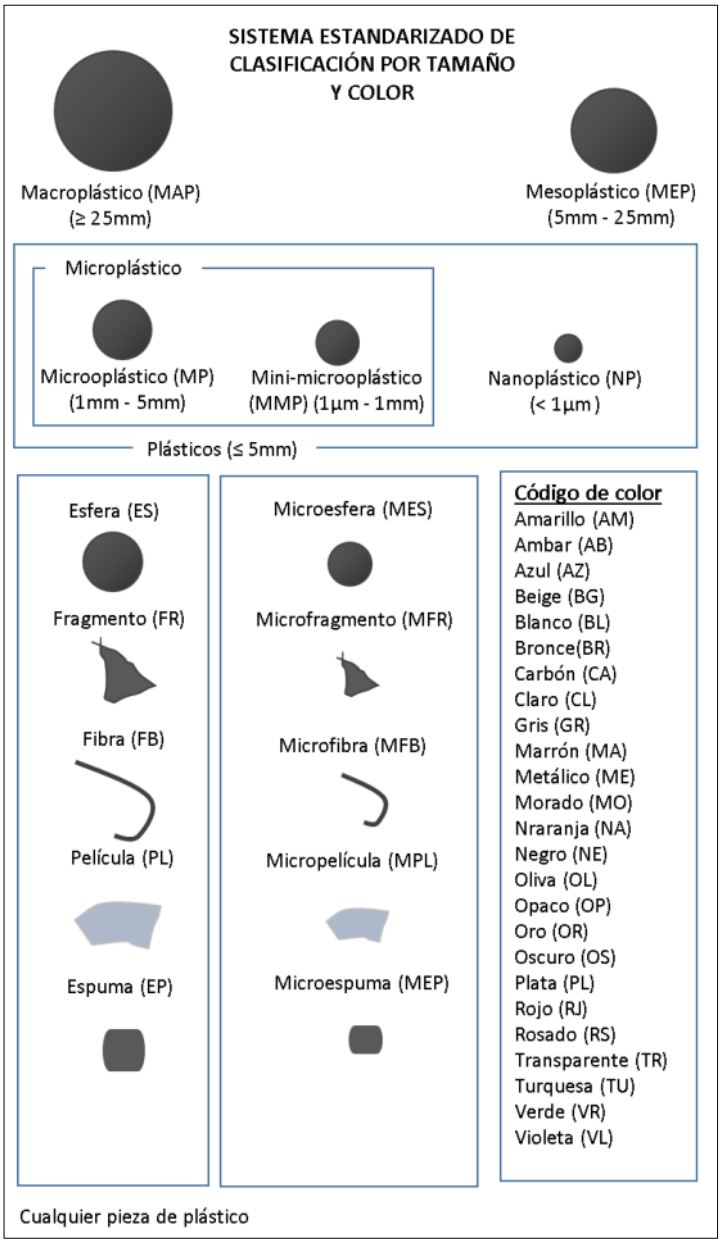


Fuente: Adaptado de Van Cauwenberghe et al. (2015)

El sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color (SCS por sus siglas en inglés) contempla la clasificación de microplásticos por características físicas e identidad polimérica, composición química del microplástico, es así que por el tamaño tiene 4 formas de categorizar un plástico: macroplástico (≥ a 25 mm), mesoplástico (5 mm – 25 mm), microplásticos (1 µm – 5 mm) y Nanoplásticos (< 1 µm), precisar que la categoría microplásticos se divide en dos subcategorías: Microplásticos (1 mm – 5 mm) y Minimicroplásticos (1 µm – 1 mm). La categorización por la forma es: Esfera, microesfera, fragmento, microfragmento, fibra, microfibra, película, micropelícula, espuma y microespuma; la categorización por color no tiene mayor detalle, el microplástico que se reconoce como tal se lo codifica con determinadas siglas según su color en inglés. A medida que se van identificando las características físicas de los microplásticos se va asignando una codificación única al mismo, al término del proceso el microplástico tendrá una codificación precisa según la metodología de la SCS (Ver **Figura 6**).

Figura 6

Clasificación de MPs según el Sistema Estandarizado de clasificación por tamaño y color (SCS por sus siglas en inglés).



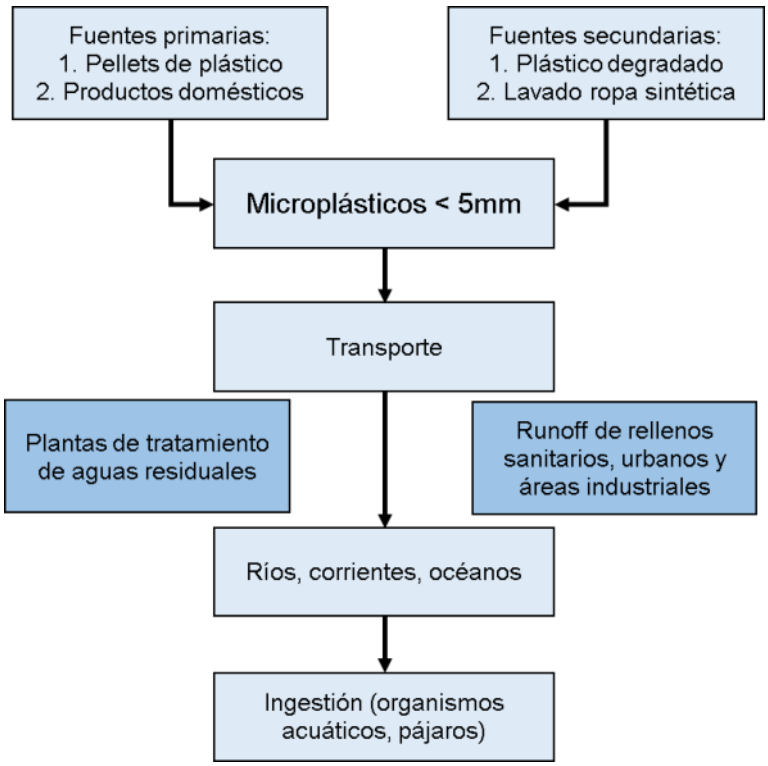
Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2017)

Según su origen, los MPs se pueden clasificar como primarios y secundarios (Cole, Lindeque, Halsband, y Galloway, 2011). Se denominan MPs primarios a los diseñados en tamaños menores a 5 mm, estos tienen una amplia gama de aplicaciones; entre ellas como abrasivo en productos de cuidado personal, abrasivos en procesos industriales y aplicaciones en medicina, etc. (Duis y Coors, 2016).

Por otro lado los MPs secundarios se generan del deterioro físico, químico o biológico de fragmentos mayores a 5 mm (Cole et al., 2011), detalle de fuentes y rutas de MPs en el medio ambiente en **figura 7**.

Figura 7

Fuentes y rutas de los MPs en el medio ambiente.



Fuente: Adaptado de Yang, Rodriguez-jorquera, Mcguire, y Toor (2015)

2.2.7. Microplásticos en Plantas de tratamiento de aguas residuales

Se estima que las plantas de tratamiento de agua residual son significativas fuentes de contaminantes, tanto para cuerpos de agua marinos y continentales, y a través de estos los MPs pueden llegar al cuerpo receptor (Auta, Emenike, y Fauziah, 2017). Se han realizado diferentes investigaciones sobre colecta y cuantificación de MPs de aguas residuales, tanto en el afluente y/o efluente (Carr et al., 2016) (Talvitie et al., 2015) (Dyachenko, Mitchell, & Arsem, 2017) (Mintenig et al., 2017). Los estudios referidos en tabla 27 se desarrollaron en diferentes partes del mundo, se detalla el tipo de PTAR según el nivel de tratamiento de agua residual. La misma indica que los estudios mayormente se han realizado en PTAR de tratamiento primario y secundario, cuánta población que se sirve de la PTAR, el volumen promedio de tratamiento de agua residual, el instrumento que se utilizó para la toma de muestras, que mayormente fueron contenedores y bombas para colectar las muestras.

En diferentes investigaciones, los puntos de muestreo mayormente se han determinado en el afluente y efluente de la PTAR, y ocasionalmente en efluentes de cada etapa de una PTAR que se analizó, así también la presencia de microplásticos en cada punto de muestreo, y se estimó la descarga de MPs al cuerpo receptor. Es preciso señalar que al detectar MPs estos se expresan en número de microplásticos (MPs) sobre volumen de agua residual (Mason et al., 2016). La concentración numérica de MP en los afluentes de las PTAR fue de entre 15 y 640 $MPs.L^{-1}$ (Lares, Ncibi, Sillanpää y Sillanpää, 2018) y que en los efluentes fue siempre muy bajo a comparación de lo registrado en el afluente (Vermaire, Pomeroy, Herczegh, Haggart, & Murphy, 2017).

En **tabla 4** se muestra un fragmento de las conclusiones publicadas en un artículo de revisión sobre MPs en aguas residuales, investigaciones desarrolladas hasta el año 2019, concluyeron que el polímero con mayor frecuencia hallado en los efluentes de una PTAR fue el Poliéster (Elkhatib & Oyanedel-Craver, 2020), además mencionan que la fuente más común del Poliéster en aguas residuales es el lavado de ropa sintética (Napper y Thompson, 2016). En productos de cuidado y limpieza personal, la composición de MPs es principalmente poliéster, polipropileno y poliestireno con tamaños promedio de 150 a 330 µm (Napper, Bakir, Rowland, & Thompson, 2015).

Tabla 4

Tipos de polímeros hallados en aguas residuales de PTAR.

Polímero	PES[a]	PET[b]	PE[c]	PA[d]	Acrílico	PP[e]	Alquídico	PS[f]
Media (%)	41.6	27.1	26.3	21.3	12	9.8	8	5.3
Rango (%)	11 - 67	4 - 51	4 - 70	16 - 28	7 - 17	3 - 16	8	4 - 10

Nota. [a] Poliéster [b] Tereftalato de polietileno [c] Poliéster [d] Poliamida [e] Polipropileno [f] Poliestireno

Fuente: adaptado de Elkhatib y Oyanedel-Craver (2020)

2.2.8. Definición de términos

- **Microplásticos primario**

"Los microplásticos primarios son típicamente pequeñas microesferas que son fabricadas intencionalmente por la industria del plástico para su uso en cosméticos, productos para el cuidado personal, exfoliantes dérmicos, agentes de limpieza y granallas de chorro de arena" (Crawford y Quinn, 2016, p. 104).

- **Microplásticos secundario**

Son fragmentos irregulares de plástico por degradación de objetos o pedazos de plástico más grandes, como botellas, cuerdas, bolsas, redes y otros (Reisser et al., 2013).

- **Espectrometría infrarroja de transformada de Fourier**

Técnica de medición que registra espectros en el rango del infrarrojo. Esta contiene un emisor de infrarrojos el cual pasa a través de varias secciones y se graba en el interferograma. La técnica para procesar lo grabado en el interferograma se llama transformada de Fourier, la cual la transforma en el espectro de la muestra que se esté analizando (Thermofisher, 2018).

- **Polímero**

Un polímero es una substancia compuesta por grandes moléculas, o macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros (Rogers, 2020).

- **Contaminante emergente**

Son compuestos de distinto origen y naturaleza química, cuya presencia ha pasado en gran parte inadvertida. Son compuestos de los que se sabe relativamente poco o nada a cerca de su presencia e impacto en los distintos compartimentos ambientales y en el hombre (Barcelo y López, 2007).

- **Agua residual**

Aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

- **Planta de tratamiento de agua residual**

Son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso (MINAM, 2009).

- **Laguna aireada**

Son balsas de profundidad de 1 a 4 m en la que la oxigenación del agua residual se realiza mediante unidades de aireación, bien sea superficiales, turbinas o difusoras (Ramalho, 1994).

- **Laguna facultativa**

Rolim (como se citó en Cortés et al., 2011) menciona que, estas lagunas presentan condiciones anaerobias en la parte inferior, una zona facultativa intermedia, y una capa aerobia en la parte superior. La profundidad de este tipo de lagunas es de 1.5 a 2 m.

III. Marco metodológico

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en la Provincia de Ilo. Se tomaron muestras de la PTAR-ML, ubicada a 5 Km al norte de Ilo, al noroeste del distrito de Pacocha, colindante con la refinería de cobre de la empresa minera Southern Perú Copper Corporation, en inmediaciones de la playa Media Luna (EPS ILO, 2004) (Ver **Figura 54**). La PTAR-ML se ubica según el sistema de coordenadas WGS84 UTM Zona 19S: 250363.23 m E – 8052912.81 m N.

3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación

La investigación presente, al describir un fenómeno en una circunstancia temporal y geográfica determinada, es de Nivel Descriptivo; según la planificación de la toma de datos es de Tipo Prospectivo y al no haber manipulación de las variables esta corresponde a un Diseño no experimental cualitativo, de enfoque longitudinal.

Nivel: Descriptiva

Tipo: Prospectivo

Diseño: No experimental cualitativo

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variable de caracterización

La variable de categorización son los microplásticos que podrían encontrarse en la PTAR-ML (Ver **Tabla 5**).

Tabla 5

Operacionalización variable de caracterización.

Variable	Concepto	Indicador	Valor final	Tipo de variable
MPs	Cualquier partícula sólida sintética o matriz polimérica, con forma regular o irregular y con un tamaño que varía de 1 µm a 5 mm, ya sea de origen primario o secundario, que son insolubles en agua	Forma	Esfera	Categórica Nominal
			Fragmento	
			Fibra	
			Película	
			Espuma	
		Color	Amarillo	Categórica Nominal
			Rojo	
			Verde	
			Azul	
			Negro	
			Celeste	
			Gris	
		Tamaño	MP[1]	Categórica Nominal
			MMP[8]	
		Composición Polimérica	PES[2]	Categórica Nominal
			PET[3]	
			PE[4]	
			PA[5]	
			Acrílico	
			PP[6]	
			Alquílico	
			PS[7]	

Nota. [1]Microplástico [2]Poliéter Sulfona [3]Tereftalato de polietileno [4]Polietileno [5]Poliamida [6]Polipropileno [7]Poiestireno [8]Minimicroplásticos

Fuente: Elaboración propia, indicador y valores finales de clasificación estándar por tamaño y color (SCS por sus siglas en inglés).

3.3.2. Variable de interés

La variable de interés es el agua residual de la cual se tomará muestras para el desarrollo de la investigación (Ver **Tabla 6**).

Tabla 6

Operacionalización variable de interés.

Variable	Concepto	Indicador (Dimensión)	Valor Final (unidad)	Tipo de variable
Agua residual	Agua cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado	Volumen	Litro (L)	Numérica continua

Fuente: Elaboración propia

3.4. Población y muestra

Se considera al agua residual que se recolecta en el sistema de saneamiento de la EPS ILO S.A. como la población de estudio, la muestra representa 64 Litros de agua residual que se tomaron en distintas fechas, procedentes de la fracción líquida del agua residual y 500 g de muestra que se tomarán de la fracción acuosa del agua residual (Ver **Figura 9** y **Tabla 26**), 15 en la columna de agua de cada una de las 5 lagunas (Laguna aireada y lagunas facultativas), 05 en el efluente de cada laguna y 01 punto de muestreo en el afluente.

En el afluente y efluente de cada laguna se realizó 01 muestreo semanal por 4 semanas; en la columna de agua (10 y 50 cm de profundidad) de cada laguna se realizó 01 muestreo semanal por 04 semanas y para el muestreo de la fracción acuosa se realizó 01 cada semana por 04 semanas.

Según el tipo de muestra que se colectó se empleó técnicas distintas, para la fracción líquida se empleó un contenedor de metal el cual tuvo acoplado un brazo extensor para poder sujetar el contenedor y para la fracción acuosa (Zona facultativa y anaeróbica de las lagunas) se empleó pipeta prefabricada de Policloruro de vinilo (PVC por sus siglas en inglés) de 2 m y 50 cm de longitud y 2” de ø, la bomba de agua que se estimó en el proyecto no fue viable por tema de seguridad personal. El volumen de colecta de muestra de la fracción líquida fue de 01 litro para todos los muestreos de la fracción líquida; de la fracción acuosa se tomarán 25 g en cada muestreo en cada laguna. En **tabla 7** se muestra detalle de los puntos de muestreo en las diferentes etapas de la planta de tratamiento de agua residual media luna.

Tabla 7

Puntos de muestreo de agua residual – PTAR ML - ILO.

Punto de muestre		Código	Coordenadas UTM		
			Este	Norte	Zona UTM
Afluente		A	250360	8052896	19S
Laguna aireada	Zona fótica (superficial)	LA1	250300	8053001	19S
	Zona facultativa (intermedia)	LA2			
	Zona anaerobia (fondo)	LA3			
Efluente laguna aireada		ELA	250275	8053081	19S
Laguna secundaria 1	Zona fótica (superficial)	LS1-1	250229	8053168	19S
	Zona facultativa (intermedia)	LS1-2			
	Zona anaerobia (fondo)	LS1-3			
Efluente laguna secundaria 1		ELS1	250208	8053208	19S
Laguna secundaria 2	Zona fótica (superficial)	LS2-1	250328	8053219	19S
	Zona facultativa (intermedia)	LS2-2			
	Zona anaerobia (fondo)	LS2-3			
Efluente laguna secundaria 2		ELS2	250281	8053306	19S
Laguna terciaria 1	Zona fótica (superficial)	LT1-1	250151	8053379	19S
	Zona facultativa (intermedia)	LT1-2			
	Zona anaerobia (fondo)	LT1-3			
Efluente laguna terciaria 1		ELT1	250137	8053482	19S
Laguna terciaria 2	Zona fótica (superficial)	LT2-1	250257	8053422	19S
	Zona facultativa (intermedia)	LT2-2			
	Zona anaerobia (fondo)	LT2-3			
Efluente laguna terciaria 2		ELT2	250209	8053508	19S

Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas de recolección de datos

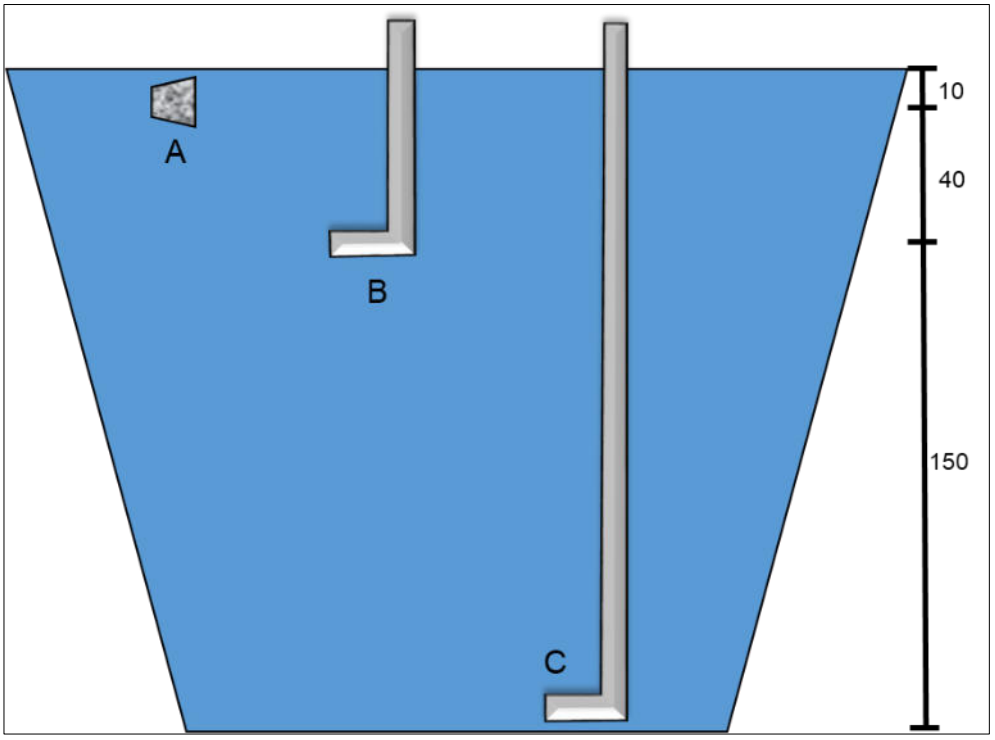
Para el pretratamiento de las muestras, para la fracción líquida se empleó la metodología recomendada por la Administración Nacional de Océano y Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés) y para las muestras de la fracción acuosa se utilizó la metodología de Vianello (2013) con modificaciones desarrolladas por Stolte (2015).

3.6. Colecta de muestras

Se empleó instrumentos distintos para colecta de muestras según la profundidad en la que se ubicó la muestra, muestras de afluente, efluentes y zona fótica de lagunas se utilizó contenedor metálico o pipeta prefabricada (Ver **Figura 8**). Para la fracción líquida superficial, una profundidad no mayor a 10 cm, se colectó con un contenedor de metal (Ver **Figura 28**) y se dispuso en frascos de vidrio; para la colecta de muestras a una profundidad mayor a 50 cm, se utilizó un sifón de PVC de 50 cm de longitud y 2” de ø (Ver **Figura 29**); y para la toma de muestras de la fracción acuosa, máxima profundidad de las lagunas de estabilización (aireada y facultativas), se empleó un sifón de PVC de 2 m de longitud y 2” de ø (Ver **Figura 30**). Es necesario agregar que para la toma de muestras en la columna de agua se utilizó 01 bote tipo Zodiac que en calidad de préstamo cedió la EPS ILO S.A. Los equipos que se utilizaron para la ejecución del muestreo y pretratamiento de muestras, así como los materiales y reactivos usados en laboratorio se detallan en **tabla 19**, **20** y **21.** Los puntos de muestreo se denotan en **figura 9** y el programa de muestreo se refleja en **tabla 26**.

Figura 8

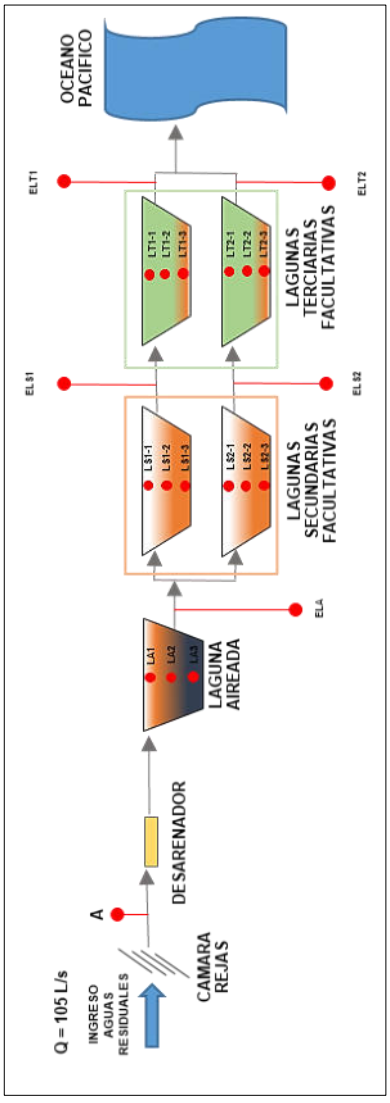
Ilustración sobre el perfil de una laguna de la PTAR-ML e Instrumentos utilizados para la toma de muestras de agua residual. Contenedor metálico (A), pipeta prefabricada de PVC de 50 cm (B) y 200 cm (C) de longitud.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Círculos rojos representan los puntos de muestreo de agua residual en la PTAR-ML de Ilo. Caudal promedio (Q), Puntos de muestreo: afluente (A), laguna aireada 1(LA1), laguna aireada 2 (LA2), laguna aireada 3 (LA3), efluente laguna aireada (ELA), laguna secundaria 1 – 1 (LS1-1), laguna secundaria 1 – 2 (LS1-2), laguna secundaria 1 – 3 (LS1-3), efluente laguna secundaria 1 (ELS1), laguna secundaria 2 – 1 (LS2-1), laguna secundaria 2 – 2 (LS2-2), laguna secundaria 2 – 3 (LS2-3), efluente laguna secundaria 2 (ELS2), laguna terciaria 1 – 1 (LT1-1), laguna terciaria 1 – 2 (LT1-2), laguna terciaria 1 – 3 (LT1-3), efluente laguna terciaria 1 (ETS1), laguna terciaria 2 – 1 (LT2-1), laguna terciaria 2 – 2 (LT2-2), laguna terciaria 2 – 3 (LT2-3), efluente laguna terciaria 2 (ETS2).



Fuente: Elaboración propia

3.6.1. Muestreo de la fracción líquida

Las muestras de agua residual se tomaron en el afluente y efluente y en las lagunas de oxidación en sus tres zonas, según el perfil del agua: zona fótica, zona facultativa y zona anaeróbica. Previamente a la toma de muestras, en laboratorio, se lavó los materiales que se necesitaron en campo, tales como el colector de metal y contenedores de vidrio, las aperturas principales de estos instrumentos se cubrieron con papel aluminio y luego se envolvieron con el mismo material para su posterior traslado al lugar de toma de muestras.

En los puntos de muestreo se tomaron las muestras con el contenedor de metal, el cual tuvo acoplado un brazo de metal para poder tener mayor alcance al muestrear, las muestras dispuestas en contenedores de vidrio se guardaron en cooler debidamente sellados para evitar la contaminación cruzada, luego las muestras fueron trasladadas a laboratorio para empezar con el pretratamiento recomendado por la Administración Nacional de Océano y Atmosfera (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) de los Estados Unidos.

3.6.1.1. Pretratamiento de muestras

El objetivo del pretratamiento fue separar el posible MPs presente en las muestras, para ello se empleó la metodología recomendado por la Administración Nacional de Océano y Atmósfera (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA) publicado el año 2015, este consiste en la oxidación de la materia orgánica utilizando diferentes reactivos para luego pasar la muestra por un proceso de separación por densidad en una solución salina. Esta comprendió de los siguientes pasos.

3.6.1.1.1. Secado de las muestras de fracción líquida

- Se pesó un vaso de precipitados (a) de 500 mL limpio y seco utilizando una balanza de precisión de 0,1 mg.
- Luego se transfirió toda la muestra tamizada al vaso de precipitados previamente tarado.
- Se colocó el vaso de precipitados en una estufa a 90 °C por 24 horas (Ver **Figura 34**).

3.6.1.1.2. Determinación de la masa total de sólidos

- Se determinó la masa del vaso de precipitados con sólidos secos (b) utilizando una balanza analítica de precisión 0.1 mg.
- Se restó la masa del vaso de precitados (a) para obtener la masa de sólidos totales (c), recolectados con el tamiz.

3.6.1.1.3. Oxidación de la materia orgánica

- Se agregó 25 mL de solución acuosa de Fe (II) 0.05 M (sulfato de hierro 0.05 M ($FeSO_4$)) al vaso de precipitados que contiene la muestra tamizada.
- Se añadió 25 mL de peróxido de hidrógeno al 30% (H_2O_2).
- Se dejó reposar a temperatura de ambiente durante cinco minutos.
- Se agregó una barra para revolver al vaso y luego se cubrirá con un vidrio de reloj.
- Luego calentó la solución a 75 °C con agitación durante 30 min (Ver **Figura 35**).
- Tan pronto como se observó burbujas de gas en la superficie, se retiró el vaso de precipitados de la plancha calefactora.

- Se calentó la solución durante 30 minutos más a 75 °C.
- Si después del tratamiento aún se visualizó material orgánico se agregó 25 mL más de peróxido de hidrógeno al 30%.
- Según indica la metodología de la NOAA, este proceso se repitió hasta digestar toda la materia orgánica.
- Para la separación por densidad se añadió 19 g de $CaCl_2$ para alcanzar una densidad de 1.3 g/mL en 100 mL de solución y molaridad de 1.71 M (Ver **Figura 36**).

3.6.1.1.4. Separación por densidad

- Se transfirió la solución resultante del vaso de precipitados a un pera de decantación (Ver **Figura 37**).
- Luego se cubrió la pera de decantación con papel aluminio.
- Se dejó reposar durante toda la noche para que los sólidos se asienten.
- Luego se drenó los sólidos sedimentados del separador de densidad y se descartó.
- Se filtró al vacío del fluido de la pera de decantación. Para este proceso se usó papel de filtro Whatman N° 41 de poro de 11 µm (Ver **Figura 38**).
- Se enjuagó la pera de decantación varias veces con agua destilada para terminar de transferir todos los sólidos al vaso de la bomba de vacío.
- Se dejó secar el filtro durante 24 horas, se lo cubrió con papel aluminio dentro de una placa de Petri.

3.6.2. Muestreo de la fracción acuosa

La PTAR ML no cuenta con un sistema mecanizado para el retiro de lodos en las diferentes lagunas, por esta razón la toma de muestras se realizó con pipeta prefabricada de PVC de 2 m de longitud y 2” de ø, con la que se extrajo 25 g de fracción acuosa de cada uno de los 5 puntos de muestreo según programa de muestreo. Por la gran dimensión de cada laguna, para dar efecto a este muestreo la EPS ILO S.A. cedió en calidad de préstamo 01 bote tipo Zodiac (Ver **Figura 25**). La muestra colectada inmediatamente fue dispuesta en contenedor de vidrio para finalmente ser trasladada a Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad Nacional de Moquegua.

3.6.2.1. Pretratamiento de muestras

El objetivo del pretratamiento es separar el posible MPs presente en las muestras, para ello en primer lugar se utilizó el método desarrollado por Vianello et al. (2013) con la modificación señalada por Stolte et al. (2015), el cual consiste en someter la muestra a una solución acuosa de Cloruro de calcio ($CaCl_2$) en una relación de 3 a 1 (Tiwari, Rathod, Ajmal, Bhangare, & Sahu, 2019), la solución se preparó con 19 g de $CaCl_2$ en 100 mL de agua destilada para obtener una densidad de 1.3 g/mL, luego se sometió a agitación durante una hora (Ver Figura 31), luego se dejó reposar hasta el día siguiente para que se sedimente los sólidos suspendidos, luego se procedió a extraer el sobrenadante con ayuda de una pipeta aforada (Ver Figura 32), el sobrenadante extraído se traspasó a un vaso de precipitados previamente pesado para luego secar la muestra en la estufa a 90 °C durante 24 horas (Ver Figura 33), pasado ese tiempo la muestra quedó lista para aplicar la metodología de la NOAA descrito en el apartado 3.6.1.1.3.

3.7. Análisis de microplásticos

En esta parte del estudio con microscopía óptica se realizó una inspección visual de microplásticos (MPs) presentes en las muestras pretratadas, la visualización se realizó siguiendo la Guía de identificación física de MPs desarrollada por el Instituto de Investigación Marina y Ambiental (Marine & Environmental Research Institute - MERI), el cual contempla establecer cuadriculas en el área del disco de papel filtro y empezar la visualización por fila con el microscopio óptico de un extremo a otro y seguir con la siguiente fila desde donde se terminó la anterior hasta cubrir todo el papel filtro (Ver **Figura 39**). Los posibles MPs se caracterizaron y clasificaron según el sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color (SCS por sus siglas en inglés).

Para la determinación de la identidad polimérica de microplásticos se descartó el uso de un espectrómetro infrarrojo, en cambio se decidió el empleo de un microscopio infrarrojo (Ver **Figura 41**), con este equipo se obtuvieron espectros infrarrojos de los diferentes polímeros. Estos se realizaron haciendo un barrido superficial cada 1000 μm^2 en modo reflectancia usando un soporte de oro. Cada uno de los espectros infrarrojos se registraron entre 4000 y 500 cm^{-1}, a una resolución espectral de 8 cm^{-1}, con 40 escaneos por espectro; de ese modo hasta cubrir el área de importancia del disco de papel filtro contenedor de MPs. A partir de la Imagen Visual se obtuvo un mapa químico de superficie, obteniendo espectros FTIR en modo reflectancia. La imagen permite la visualización de la morfología de la superficie y el mapeo de las distribuciones de los componentes, en colores falsos de la muestra en una escala micrométrica y promueve una comprensión avanzada de las heterogeneidades de los componentes contenidos en el papel filtro. El intenso color rosa en la muestra indica protuberancias o cimas y la abundancia de un

grupo funcional químico específico. Para definir qué grupos funcionales están presentes con mayor abundancia se analizó la imagen del mapa químico (ChemiMap) por grupo funcional característicos de cada tipo de microplástico. Este análisis se realizó con un microscopio TFIR de marca PerkinElmer, modelo Spotlight 200, el cual no presenta la función de clasificación por tamaño y color de microplástico como sí presentan microscopios FTIR avanzados, es por ello que la caracterización se realizó con Microscopía óptica siguiendo la guía del Instituto de Investigación Marino y Ambiental (Marine & Environmental Research Institute - MERI) y la clasificación según el Sistema estandarizado por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS).

3.7.1. Categorización basada en el tamaño

Para la presente sólo se consideró el rango de tamaños de microplástico definidos por el Sistema estandarizado de clasificación por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS), y se lo categorizará según el código de abreviatura señalados en **tabla 22**, específicamente en el rango de Microplástico (MPs) y Minimicroplásticos (MMP).

3.7.2. Categorización basada en la morfología

Según las precisiones de la guía elaborada por la SCS, esta clasificación se da únicamente a plásticos menores a 5 mm, al igual que en la clasificación por tamaño, según su morfología se clasificó los MPs por fragmentos, microfragmentos, fibras, microfibras y otras categorías consideradas en la clasificación (Ver **Tabla 23**).

3.7.3. Categorización basada en el color

Se usaron los códigos de color precisados por la SCS, no fue necesario combinarse agregando un guion como indica la SCS, mayormente se hallaron colores definidos (Ver **Tabla 24**).

3.7.4. Categorización por tipo de polímero

Para determinar la identidad polimérica de los ítems de MPs se utilizó microscopía FTIR, equipo PerkinElmer Spotlight 200, este equipo contempla accesorio de reflectancia total atenuada (Total Attenuated Reflection - ATR).

> El ATR es un accesorio del equipo FTIR que mide los cambios que ocurren en un haz Infrarrojo reflejado internamente cuando el haz entra en contacto con la muestra. La reflectancia interna crea una onda evanescente que se extiende más allá de la superficie del cristal hacia la muestra mantenida en contacto con el cristal; el detector registra el haz de infrarrojos atenuado como una señal de interferograma, que luego se utiliza para generar un espectro de infrarrojos. (Thermofisher, 2018)

Se contrató el servicio de microscopía FTIR al laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Autónoma de Coahuila de México, hallar un laboratorio en Perú en época de declaratoria de estado de emergencia sanitaria no fue posible, para el entendimiento sobre el funcionamiento de equipos FTIR y espectrometría infrarroja se llevó un curso organizado por especialistas de le empresa ThermoFisher Scientific del 10 al 14 de agosto del 2021 (Ver **Figura 42**). Se consideraron todas las medidas de seguridad para el envío de muestras, tanto para evitar se estropeen como la contaminación cruzada, los discos de papel filtro fueron dispuestos y fijados a 02 portaobjetos, luego se colocó dentro de una placa de Petri con tapa y sellada con cinta

Parafilm y finalmente envuelta en papel aluminio y plástico de burbujas para evitar su quiebre (Ver **Figura 40**).

3.8. Abundancia numérica de microplásticos

Los MPs identificados por microscopía óptica y espectrometría infrarroja se expresará su abundancia numérica como MPs por litro ($MPs.L^{-1}$), para MPs de fracción acuosa su abundancia numérica se representará en número de MPs sobre Kilogramo ($MPs.kg^{-1}$).

3.9. Análisis y presentación de datos

Al ser la presente una investigación de nivel descriptivo se empleó estadística descriptiva para el análisis de los datos, utilizando medidas de tendencia central y medidas de dispersión, los cuales han sido representados en gráficos y diagramas. Los datos se tabularon por la totalidad de muestras, por afluente y efluente y por fecha muestreo, según su forma, composición polimérica, color y tamaño.

IV. Aspectos administrativos

El presupuesto para la ejecución de actividades fue autofinanciado en materiales, reactivos y servicios como el análisis espectrométrico; en Laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua (UNAM) se desarrolló la etapa de pretratamiento de muestras, se empleó diferentes equipos y materiales, así mismo la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS ILO S.A.) facilitó el uso de bote para la toma de muestras de la columna de agua.

4.1. Recursos humanos

para la etapa de muestreo se requirió personal de apoyo, ya que conllevó acarrear materiales, dar soporte en la toma de muestras y otras actividades relacionadas, en laboratorio se necesitó la guía de técnico de laboratorio para la preparación de soluciones, consideraciones de seguridad y bioseguridad.

4.2. Equipos, materiales e insumos

Se utilizaron diversos materiales tanto para la toma de muestras y pretratamiento de muestras, tales como útiles para acarreo, toma de muestra de agua residual, como cooler, contenedor metálico, envases de vidrio; en la etapa de pretratamiento materiales como vasos de precipitados de diferentes volúmenes, tamices, embudos de decantación, pipetas, desecador; equipos utilizados en esta misma etapa fueron agitadores con magneto, cocinilla, estufa, bomba de vacío, campana de gases, microscopio óptico, detalle de materiales, equipos e insumos básicos que se utilizaron para la ejecución del proyecto de tesis están señalados en **tablas 8**, **9** y **10**.

Tabla 8

Requerimiento de reactivos

Reactivos	Formula Molecular	N° CAS	Unidad	Cantidad
Cloruro de Calcio ($CaCl_2$)	$CaCl_2$	10043-52-4	kg	2.0
Sulfato ferroso heptahidratado	$FeSO4*7H_2O$	7782-63-0	kg	0.5
Peróxido de hidrógeno (30%)	H_2O_2	7722-84-1	L	3.0
Agua destilada	H_2O		L	5.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9

Requerimiento de Materiales

Materiales	Cantidad
Vasos de precipitados 500 mL	8
Pinzas de metal	2
Piseta	2
Espátula de metal	2
Papel filtro Whatman 47 mm Ø	1
Bolsas negras	1
Cooler 45 L	1
Contenedor metálico	1
Overol impermeable	2
Respiradores cartuchos N95	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Requerimiento de equipos

Equipo	Cantidad
Microscopio digital	1
GPS	1
Balanza analítica	1
Estufa	1
Cocinilla	1
Agitador magnético	1
Bomba de vacío	1
Tamizador y mallas	2
Bote	1
Laptop	1
Impresora	1

Fuente: Elaboración propia

4.3. Servicios

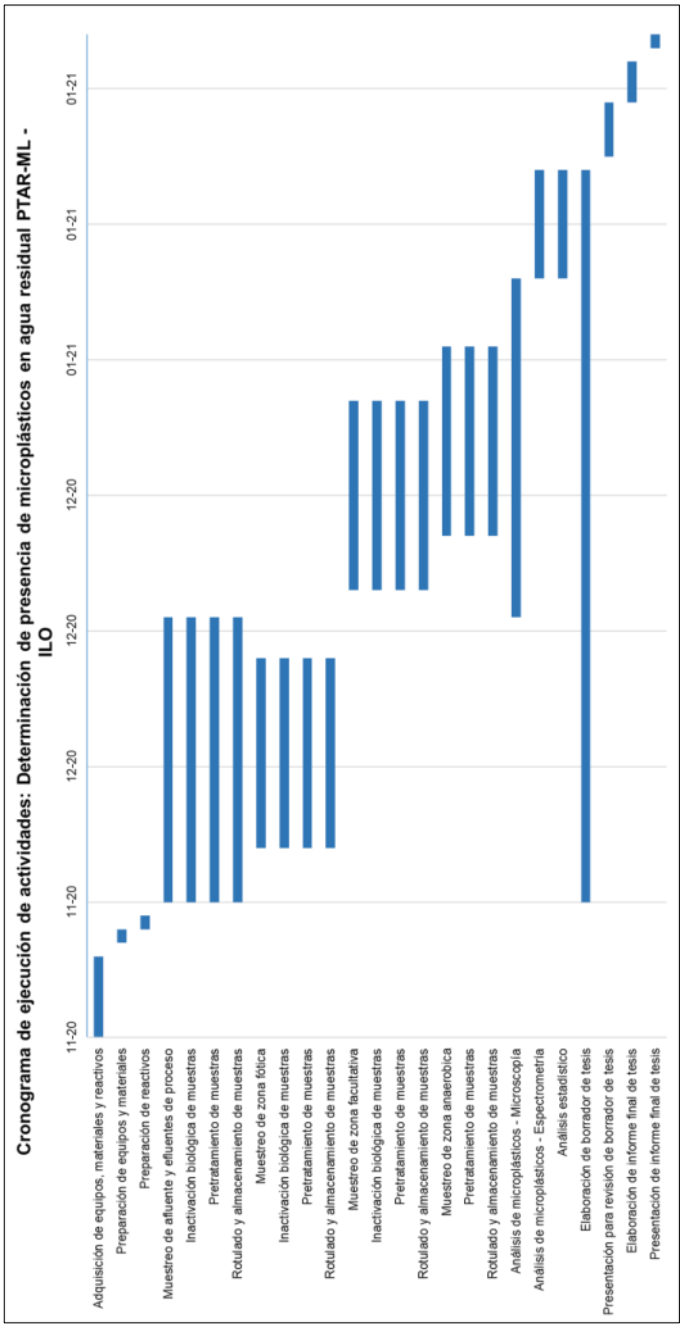
Para la identificación de microplásticos (MP) se contrató servicio de espectrometría al laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Autónoma de Coahuila (México), que contó con la supervisión del Dr. Rubén García Braham, el cuál desarrolló el análisis de muestras con Microscopio FTIR, equipo de marca PerkinElmer, modelo Spotlight 200.

4.4. Cronograma de actividades

Las actividades de ejecución de actividades de tesis, tales como muestreo, fracción líquida y acuosa; pretratamiento, Tamizaje, oxidación de materia orgánica, separación por densidad, drenaje y filtrado de MPs mediante succión al vacío; visualización de muestras para caracterizar MPs con microscopía óptica y finalmente determinación de identidad polimérica, este servicio se contrató al Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Autónoma de Coahuila – México, el cual tomó un mayor al estimado en cronograma, detalle del cronograma en **figura 10**.

Figura 10

Cronograma de actividades de ejecución de tesis



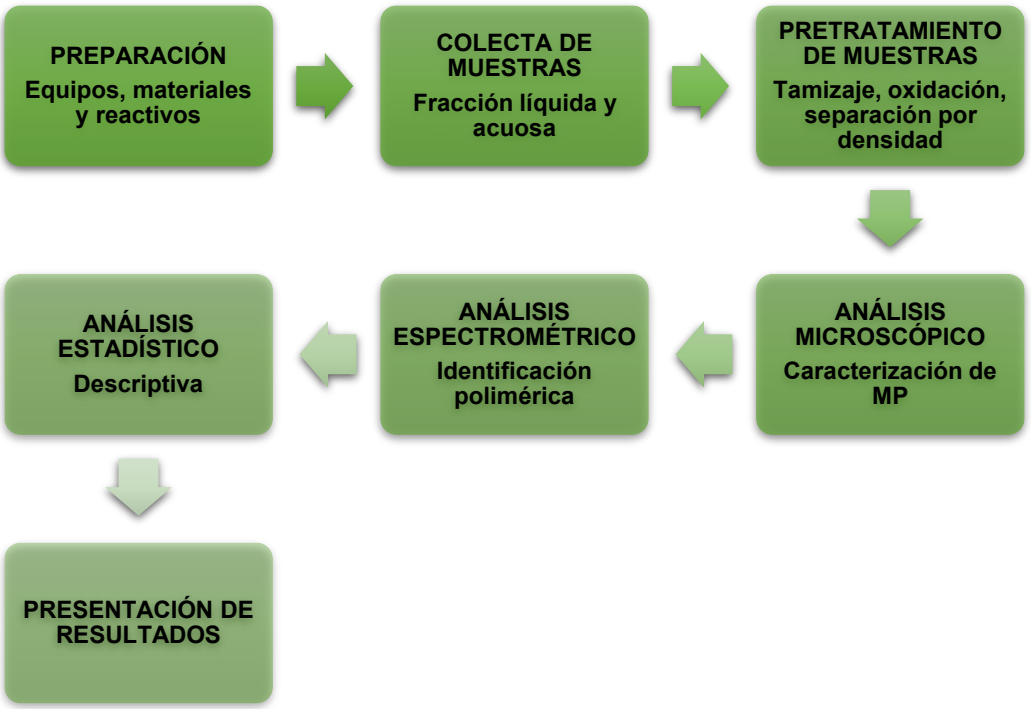
Fuente: Elaboración propia

El proceso general de la ejecución de la investigación empezó con una preparación de equipos, materiales y reactivos, esta preparación consistió en dar las condiciones requeridas para dar inicio de la ejecución del proyecto, calibración de equipos, adquisición de reactivos, limpieza de materiales y acondicionamiento general de ambientes para el manejo de muestras, luego se procedió a la colecta de muestras, esta tomó 4 semanas, tanto de la fracción líquida como acuosa, para lo cual se consideraron las medidas de bioseguridad necesarias y exigidas por la empresa prestadora de servicios de saneamiento (EPS ILO S.A.), las cuales consistieron en el uso de equipos de protección personal, como traje de bioseguridad, respirador, guantes de nitrilo, botas, lentes de protección y careta facial.

Asimismo se consideraron todas las recomendaciones para evitar la contaminación cruzada reduciendo el empleo de material plástico; posterior a la colecta se realizó un pretratamiento de las muestras, esta consistió básicamente en la separación por densidad de los posibles microplásticos de la fracción orgánica, luego se realizó un análisis visual de las muestras pretratadas con microscopía óptica para caracterizarlos físicamente considerando variables como el tamaño, forma y color, estos fueron clasificados y codificados según las recomendaciones del sistema de clasificación estandarizado por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS), un paso final fue la identificación polimérica de las microplásticos presentes en las muestras con microscopía FTIR, del cual se obtiene el mapa químico y los espectros infrarrojos de los tipos de polímeros identificados, finalmente se tabularon los datos y se analizaron con estadística descriptiva. (Ver **figura 11**).

Figura 11

Diagrama de flujo de actividades de proyecto de tesis



Fuente: Elaboración propia

V. Resultados de investigación

Para el análisis espectrométrico, de las 84 muestras realizadas y pretratadas, por dificultades financieras, se consideraron 12 (Ver **Tabla 11**), que corresponden a los puntos de muestreo antes y después del tratamiento de agua residual en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Media Luna – Ilo (PTAR-ML), se excluyó muestras tomadas en la columna de agua de las 5 lagunas, efluente de laguna aireada y efluente de lagunas secundarias.

Tabla 11

Muestras consideradas para el análisis espectrométrico según punto de muestreo

Punto de muestreo	Código punto de muestreo	N° de muestras	Análisis espectrométrico
Afluente	A	4	**Sí**
Efluente Laguna terciaria 1	ELT1	4	**Sí**
Efluente Laguna terciaria 2	ELT2	4	**Sí**

5.1. Presencia de MPs en agua residual de la PTAR-ML

5.1.1. Identidad polimérica

Se identificaron microplásticos en las 12 muestras de agua residual tomadas de los puntos de muestreo que se precisan en **tabla 12**; 01 muestra semanal en cada punto de muestreo por 4 semanas.

Tabla 12

Muestras analizadas con Microscopía FTIR

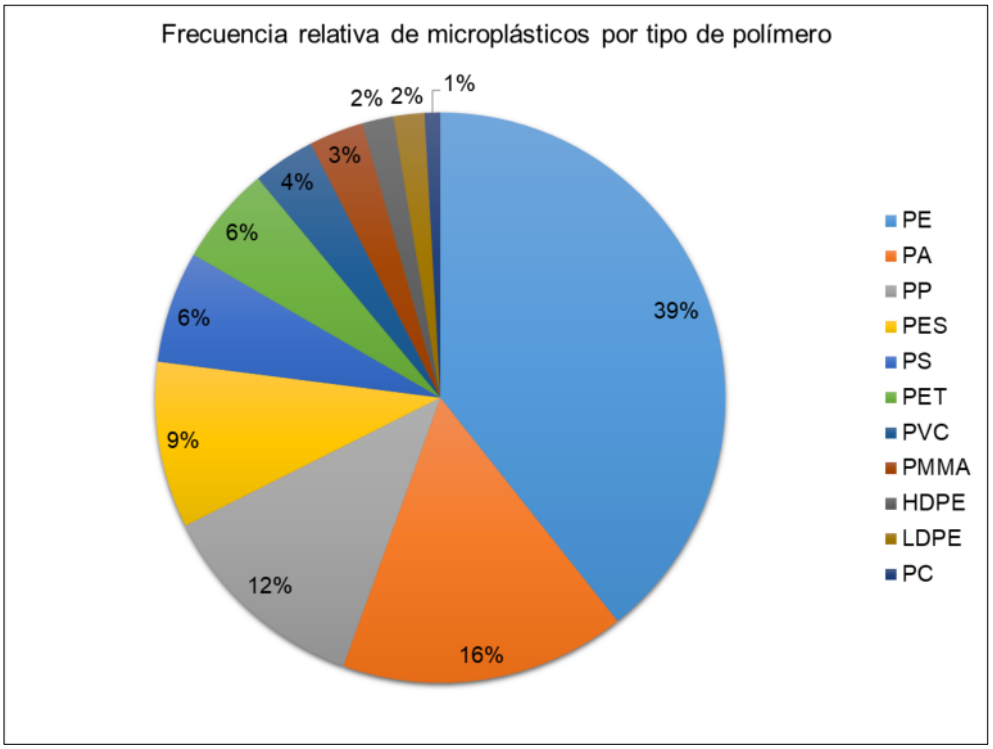
Punto de muestreo	Código – Punto de muestreo	Muestreos	Código de muestreo	Volumen muestreado (L)
Afluente	A	4	1-110121	1
			1-180121	1
			1-250121	1
			1-010221	1
Efluente Laguna terciaria 1	ELT1	4	5-110121	1
			5-180121	1
			5-250121	1
			5-010221	1
Efluente laguna terciaria 2	ELT2	4	6-110121	1
			6-180121	1
			6-250121	1
			6-010221	1

Fuente: Elaboración propia

Con equipo de microscopía FTIR se identificaron 11 tipos de polímeros en un total de 409 microplásticos, siendo el Polietileno (PE) el polímero con mayor frecuencia relativa (39%), seguido del Poliamida/Nylon (16%) y el Polipropileno (13%), otros polímeros identificados con porcentajes menores iguales a 10% son el Poliéter Sulfona (PES), Poliestireno (PS), Tereftalato de polietileno (PET), Policloruro de vinilo (PVC), Polimetilmetacrilato (PMMA), Polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno de baja densidad (LDPE) y Policarbonato (PC) (Ver **Figura 12**).

Figura 12

Frecuencia relativa de microplásticos en totalidad de muestras, por tipo de polímero.



Con microscopía FTIR se obtuvo los espectros infrarrojos de cada uno de los 11 polímeros identificados en la totalidad de las muestras, con su respectivo espectro infrarrojo de referencia según la biblioteca de espectros del equipo PerkinElmer Spotlight 200 (Ver **Anexo 10**).

5.1.2. Caracterización física de microplásticos

La caracterización de los microplásticos en adelante se basa en el Sistema de Clasificación Estandarizado por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS), la cual caracteriza y clasifica los microplásticos por su tamaño, morfología y color; la

información se obtuvo mediante microscopía óptica, se utilizó microscopio de marca Olympus, modelo BX43, hallándose en total 354 microplásticos.

5.1.2.1. Caracterización basada en el tamaño

Dentro de la categorización por tamaño la SCS señala dos subcategorías: Microplástico (MP) con un rango de medida de 1 mm - 5 mm y Minimicroplástico (MMP) entre 1 µm - 1 mm; se hallaron 39 MPs (11%) y 315 MMP (89%) (Ver **tabla 13** y **Figura 13)**.

Tabla 13

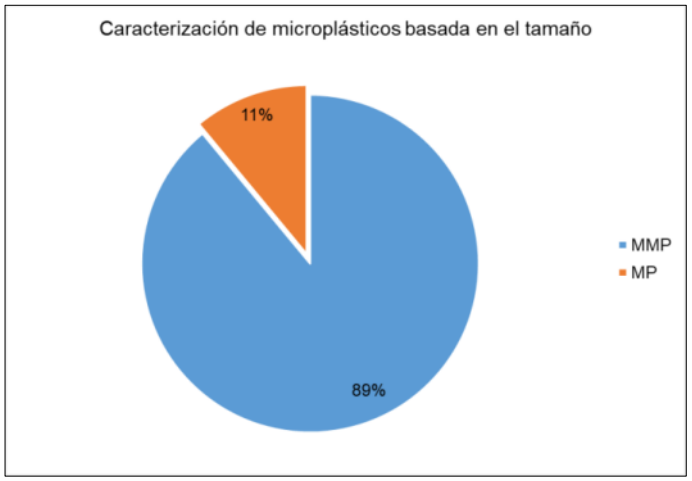
Categorización de MPs basado en el tamaño

Categoría	Abreviación	Tamaño	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Microplástico	MPs	5 mm - 1 mm	39	11
Minimicroplástico	MMP	1 mm - 1 µm	315	89

Fuente: Elaboración propia, tamaño basado en la Clasificación Estandarizado por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS).

Figura 13

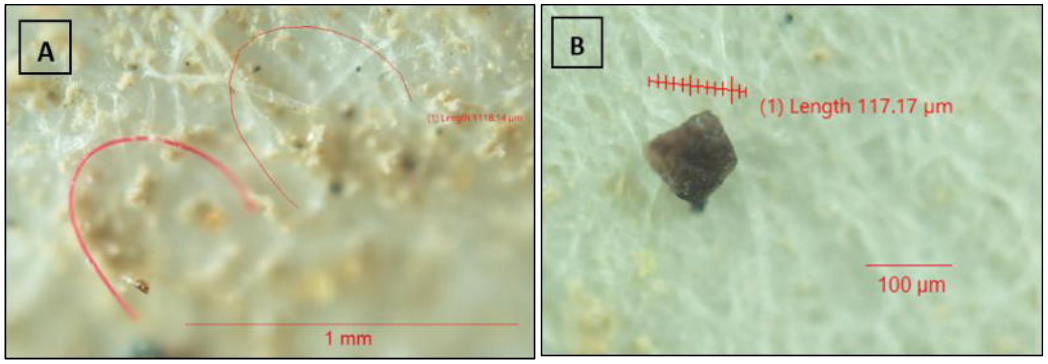
Caracterización de MPs basada en el tamaño.



En **figura 14** se aprecia microplásticos diferenciados por tamaño, el primero es una fibra que mide 1118.14 µm (A) y el consecutivo es un fragmento de 117.17 µm (B). Medición realizada con el software CellSens Imaging V3.2. con objetivo 10x, microscopio Olympus modelo BX43.

Figura 14

Microplásticos de diferentes tamaños hallados en muestras de agua residual de la PTAR-ML. Laboratorio de calidad de agua de la Universidad Nacional de Moquegua.



5.1.2.2. Caracterización basada en la morfología

Según esta característica se identificaron 6 de los 10 tipos de morfologías señaladas por la Clasificación Estandarizada por tamaño y color (SCS por sus siglas en inglés), siendo los microplásticos tipo Microfragmento (MFR) y Microfibra (MFB) los de mayor representatividad en el total de muestras analizadas; en menor frecuencia se halló microplásticos del tipo Microesfera (MBD), Fibra (FB), Micropelícula (MFI) y Microespuma (MFM). No se hallaron microplásticos del tipo Esfera (PT), Fragmento (MFR), Película (FI) y Espuma (FM) (Ver **Tabla 14** y **figura 15**).

Tabla 14

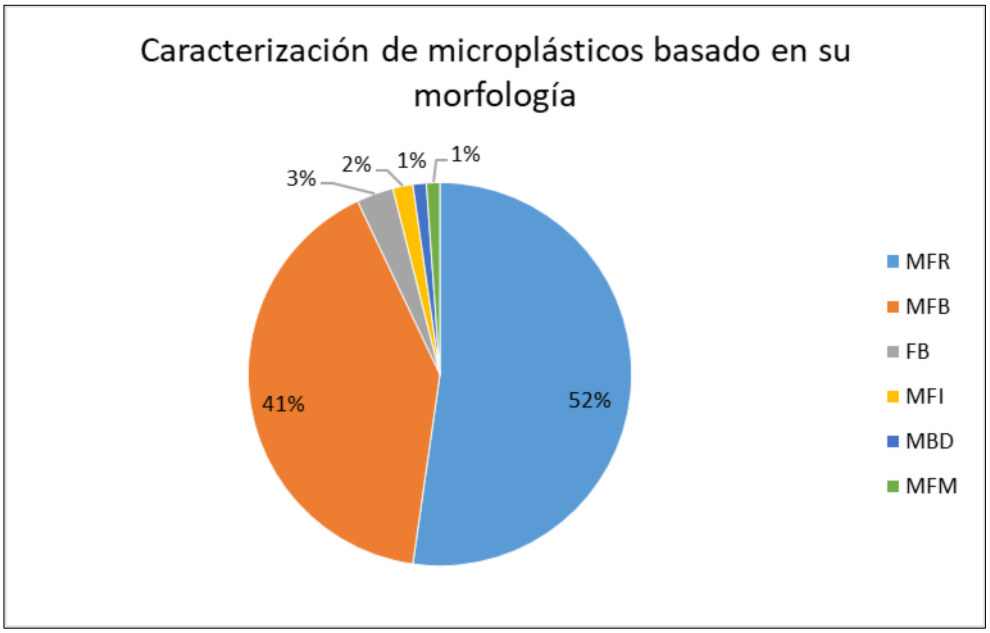
Categorización de MPs basada en la morfología

Abreviación	Tipo	Tamaño	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
PT	Esfera	< 5 mm - 1 mm	0	0
MBD	Microesfera	< 1 mm - 1 µm	4	1
FR	fragmento	< 5 mm - 1 mm	0	0
MFR	Microfragmento	< 1 mm - 1 µm	185	52
FB	Fibra	< 5 mm - 1 mm	11	3
MFB	Microfibra	< 1 mm - 1 µm	144	41
FI	Película	< 5 mm - 1 mm	0	0
MFI	Micropelícula	< 1 mm - 1 µm	6	2
FM	Espuma	< 5 mm - 1 mm	0	0
MFM	Microespuma	< 1 mm - 1 µm	4	1

Fuente: Elaboración propia, morfología basada en la Clasificación Estandarizado por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS).

Figura 15

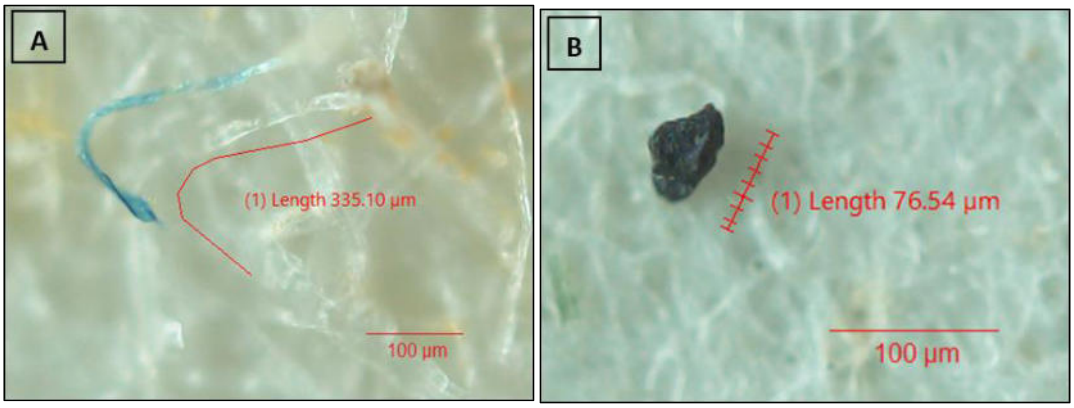
Porcentaje de representatividad de MPs según su morfología



En **figura 16** se visualiza dos tipos de morfología, una muestra una microfibra en color azul (A) y la segunda un microfragmento en color oscuro (B). Fotografía realizada con cámara microscópica digital Olympus DP74, acoplada a Microscopio Olympus BX43, objetivo 10x.

Figura 16

Microplásticos de diferentes morfologías. Microfibra (A), Microfragmento (B). Laboratorio de calidad de agua de la Universidad Nacional de Moquegua



5.1.2.3. Caracterización basada en el color

Se han hallado microplásticos de diferentes colores y tonalidades de determinado color, con mayor frecuencia se ha hallado al color Oscuro (35%), Azul (20%), Beige (12%), Negro (9%), Marrón (6%), Verde (3%), Transparente (4%) y Rojo (3%); colores como el anaranjado, violeta, blanco, amarillo y rosado se halló en valores menores al 2%, detalle en **tabla 15** y **figura 17**.

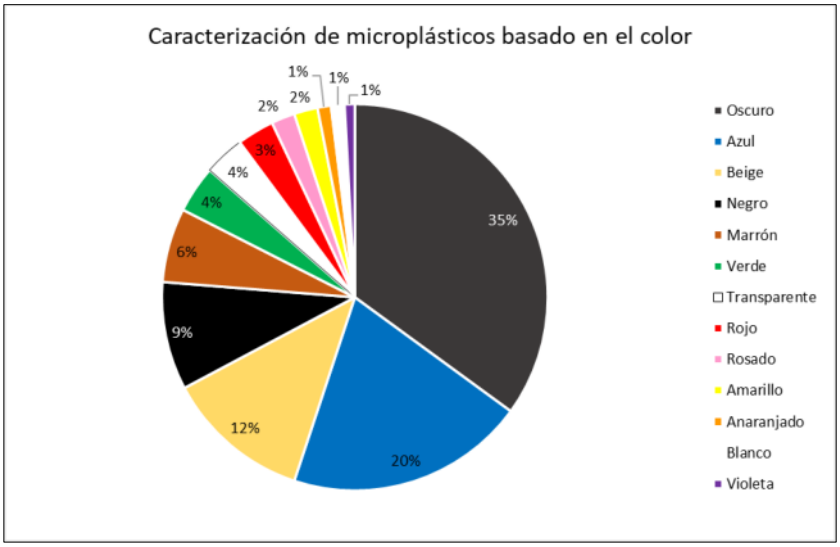
Tabla 15

Caracterización de microplásticos basado en el color

Color	Abreviación	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Beige	BG	43	12
Negro	BK	32	9
Azul	BL	71	20
Marrón	BN	22	6
Oscuro	DK	124	35
Verde	GN	14	3
Anaranjado	OR	4	1
Rosado	PK	7	2
Rojo	RD	11	3
Transparente	TP	12	4
Violeta	VT	3	1
Blanco	WT	4	1
Amarillo	YL	7	2

Figura 17

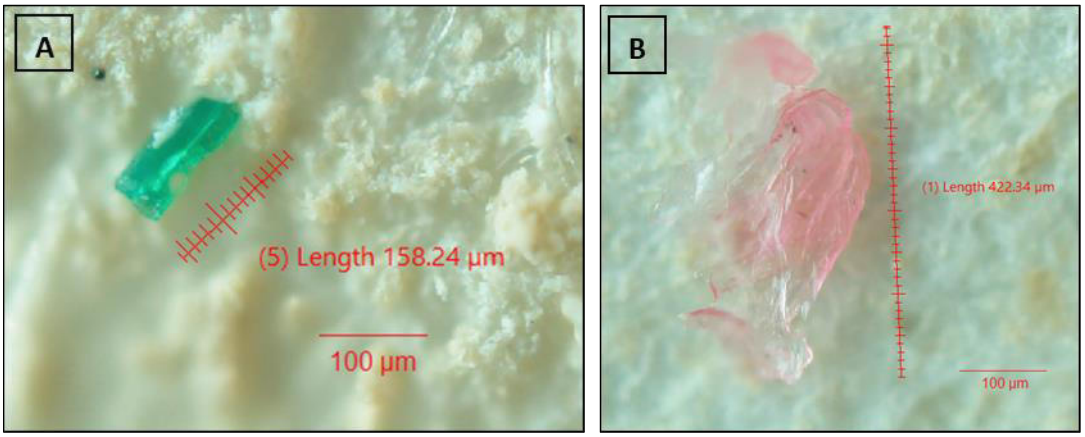
Porcentaje de representatividad de MPs según su color.



En **figura 18** se observa dos colores de microplásticos, un fragmento en color verde claro (A) y una lámina de bolsa plegada en color rosado (B). Fotografía realizada con cámara microscópica digital Olympus DP74, acoplada a Microscopio Olympus BX43, objetivo 10x.

Figura 18

Colores de microplásticos hallados en muestras. Laboratorio de calidad de agua de la Universidad Nacional de Moquegua



5.1.3. Cuantificación de microplásticos

Según el análisis de microscopía FTIR se identificaron un total de 409 microplásticos, se halló microplásticos en cada una de las 12 muestras analizadas, en afluente y efluente se hallaron 270 y 139 partículas microplásticas respectivamente. Para efectos de análisis se promedió la frecuencia absoluta de microplásticos (MPs) hallados en muestras procedentes de puntos de muestreo “Efluente de Laguna Terciaria 1” (ELT1) y “Efluente Laguna Terciaria 2” (ELT2), resultando se constituye como “Efluente” en **tabla 16**, obteniéndose finalmente una frecuencia absoluta de 270 y 69.5 microplásticos en afluente y efluente correspondientemente.

Tabla 16

Frecuencia absoluta de microplásticos por fecha de muestreo y tipo de polímero en afluente y efluente de la PTAR-ML

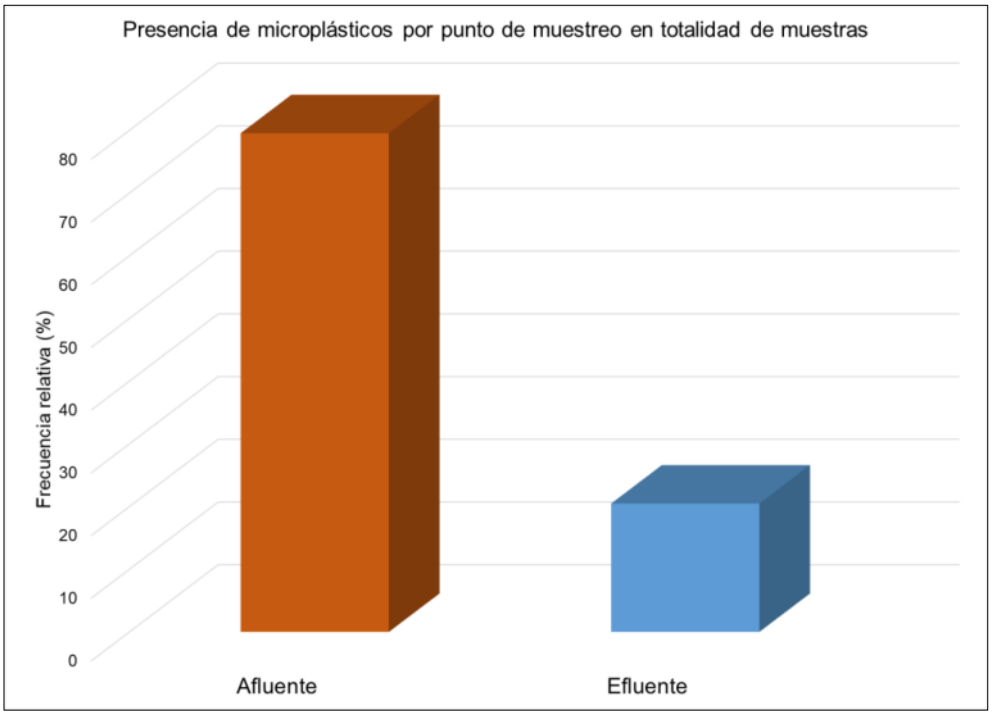
Fecha	Punto de muestreo	PE[1]	PET[2]	HDPE[3]	LDPE[4]	PP[5]	PS[6]	PA[7]	PVC[8]	PC[9]	PES[10]	PMMA[11]
11/01/2021	Afluente	26.0	3.0	0.0	0.0	2.0	4.0	9.0	1.0	1.0	9.0	4.0
11/01/2021	Efluente	6.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	5.5	0.0	0.0	3.5	0.5
18/01/2021	Afluente	29.0	4.0	1.0	0.0	10.0	8.0	18.0	3.0	0.0	5.0	4.0
18/01/2021	Efluente	8.5	2.5	0.0	0.0	1.0	1.0	2.5	0.5	0.0	0.0	0.5
25/01/2021	Afluente	18.0	4.0	3.0	6.0	12.0	5.0	14.0	3.0	2.0	5.0	0.0
25/01/2021	Efluente	6.0	1.5	0.0	0.0	4.0	0.0	0.5	0.0	0.0	3.0	1.5
1/02/2021	Afluente	33.0	1.0	2.0	0.0	6.0	2.0	5.0	4.0	0.0	4.0	0.0
1/02/2021	Efluente	7.0	1.5	0.0	0.0	6.0	0.0	0.5	0.5	0.0	2.5	0.0

Nota. [1]Polietileno [2]Tereftalato de polietileno [3]Polietileno de alta densidad [4]Polietileno de baja densidad [5]Polipropileno [6]Poliestireno [7]Poliamida [8]Policloruro de vinilo [9]Policarbonato [10]Poliéter sulfona [11]Polimetilmetacrilato

En **figura 19** se representa la presencia de microplásticos por punto de muestreo en el total de muestras analizadas de la PTAR-ML, 80% de MPs en afluente y 20% en efluente. Basándose en la presencia de MPs hallados en efluente se estima que la presencia de MPs en afluente es 288% más que en efluente.

Figura 19

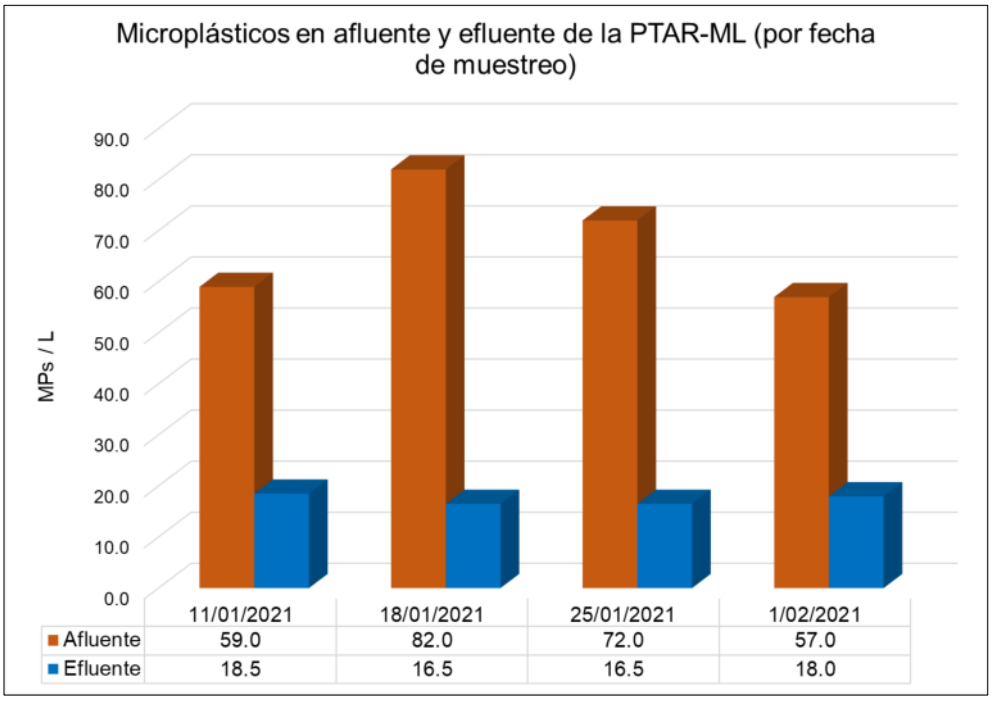
Presencia de microplásticos en afluente y efluente de la PTAR-ML



En **figura 20** se muestra la presencia de microplásticos en los diferentes muestreos realizados en afluente y efluente de la PTAR-ML, en todas las fechas de muestreo la frecuencia absoluta de MPs es mayor en afluente que en efluente. Se pude apreciar que la frecuencia de MPs en efluente, es casi constante en las diferentes fechas de muestreo, se mantiene entre 16.5 a 18.5 MPs.L^{-1}; en afluente hay una variación mayor que va de 57 a 82 MPs.L^{-1}. Los datos mostrados en **figura 20** se corresponden a los datos señalados en **figura 19**, ya que ambas figuras muestran mayor presencia de MPs en afluente que en efluente. En los 04 muestreos realizados de forma semanal, afluente y efluente presentan una media de 67.5 ±11.7 MPs.L^{-1} y 17.4±1 MPs.L^{-1} respectivamente.

Figura 20

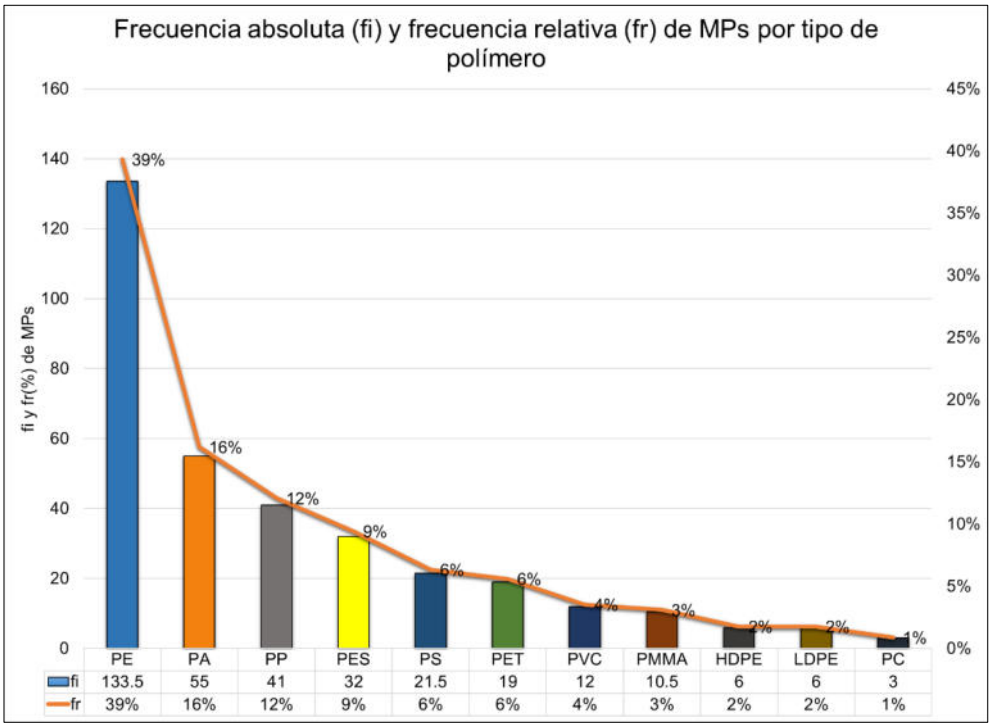
Presencia de MPs por fecha y punto de muestreo



En cuanto a la frecuencia de microplásticos por tipo de polímero en el total de muestras, el Polietileno (PE) obtuvo mayor frecuencia relativa (39%), los polímeros restantes obtuvieron frecuencias significativamente menores: Poliamida (16%), Polipropileno (12%), Poliéter Sulfona (9%), Poliestireno (6%), Tereftalato de polietileno (6%), Policloruro de vinilo (4%), Polimetilmetacrilato (3%), Polietileno de alta densidad (2%), Polietileno de baja densidad (2%) y Policarbonato (1%) (Ver **figura 21)**.

Figura 21

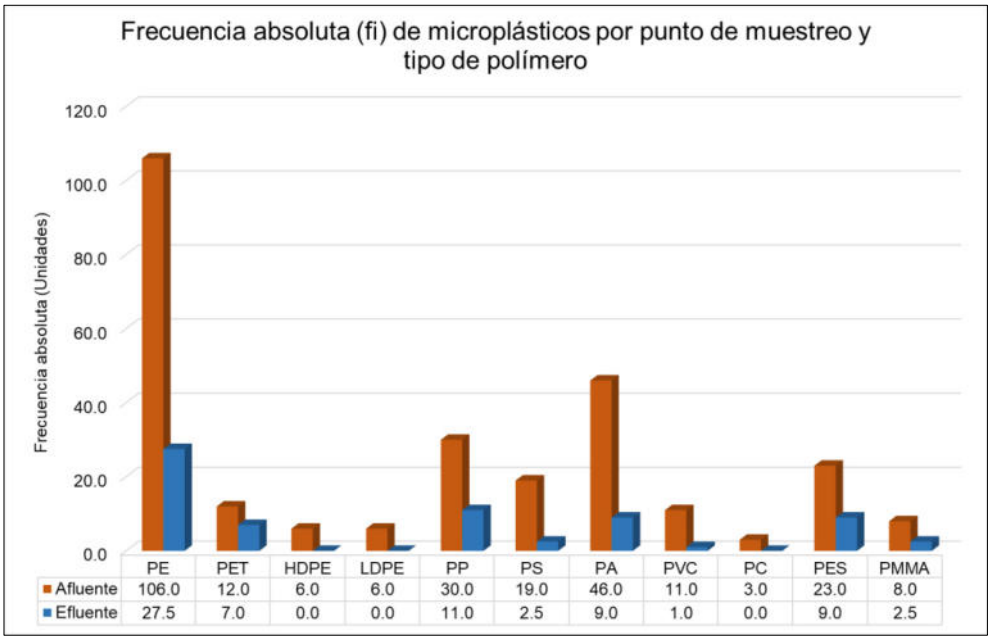
Frecuencia absoluta y relativa de microplásticos por tipo de polímero.



En **figura 22** se visualiza la frecuencia absoluta de microplásticos por punto de muestreo y tipo de polímero, como se puede apreciar la frecuencia de MPs, para cada uno de los polímeros identificados, siempre es mayor en afluente que en efluente, teniendo al Polietileno (PE), Poliamida (PA), Polipropileno (PP), Poliéter sulfona (PES) y Poliestireno (PS) con las frecuencias más altas. Polímeros como el Polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno de baja densidad (LDPE) y Policarbonato (PC) registran presencia en afluente mas no en efluente, es dato que se repite en cada una de los 04 muestreos (Ver **Tabla 16**).

Figura 22

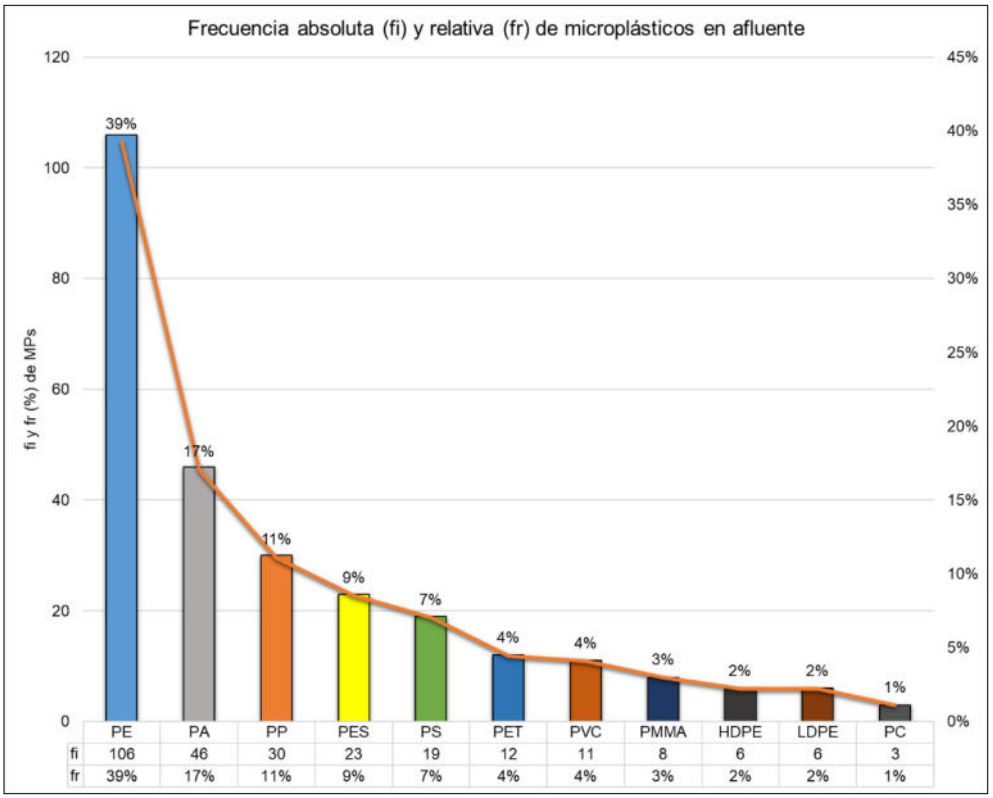
Frecuencia absoluta de MPs por tipo de polímero en afluente y efluente.



En **figura 23** se refleja la frecuencia relativa y absoluta de microplásticos (MPs) por tipo de polímero en afluente, en general la figura refleja datos similares a la **figura 22**, muestran al Polietileno (PE) con mayor porcentaje (39%) y con menor porcentaje al Policarbonato (PC) (1%).

Figura 23

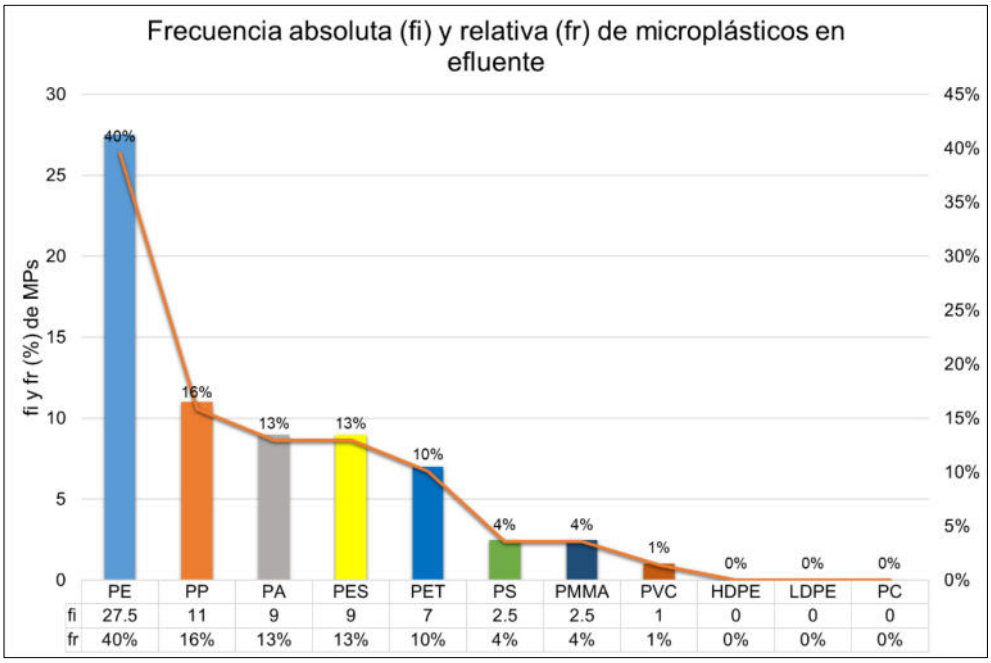
Abundancia de MPs por tipo de polímero en afluente



La **figura 24** muestra la frecuencia absoluta y relativa de microplásticos (MPs) por tipo de polímero en efluente, valores significativamente reducidos a comparación de los valores registrados en afluente, polímeros como el Polietileno de alta y baja densidad, y el Policarbonato no registran presencia, y polímeros como Poliestireno (PS) que está dentro de los 5 polímeros con mayor frecuencia en la presente investigación, registra un descenso significativo en efluente; el Polietileno (PE) es el polímero con mayor frecuencia relativa (40%), pero tiene un descenso de casi el 75% con lo registrado en el afluente.

Figura 24

Abundancia de MPs por tipo de polímero en efluente



VI. Discusión de resultados

Investigaciones como el presente han mostrado resultados contundentes en cuanto a la presencia de microplásticos (MPs) en aguas residuales, han determinado su presencia en mayor o menor frecuencia, características físicas y composición polimérica; por esta razón las plantas de tratamiento de aguas residuales son consideradas importantes fuentes de liberación de MPs en el medio ambiente (Browne et al., 2011); los resultados de la presente investigación revelan presencia de MPs en cada una de las muestras analizadas del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Media Luna (PTAR-ML), 288% más MPs en afluente que en efluente; un dato relevante del total de partículas microplásticas halladas fue la baja frecuencia de microplásticos de morfología tipo microesfera (MBD), es un dato que llama la atención porque es un tipo de microplástico de origen primario, ya que es fabricado de tal forma y dimensión para cumplir funciones específicas, aplicadas principalmente en la industria de la belleza y cuidado personal (Leslie, 2014). El microfragmento (MFR), según su morfología, es el tipo de microplástico que se halló con mayor frecuencia (52%), seguido de la microfibra (MFB) con 41%, estos tipos de MPs son de origen secundario, proceden de un plástico de mayor tamaño (Reisser et al., 2013), tienen su origen al estar expuestos a la radiación natural y/o artificial, así como diversas fuerzas mecánicas como la tensión y torsión (Cooper & Corcoran, 2010). Se halló al Polietileno (PE) como el polímero con mayor frecuencia en el total de muestras, así como en el acumulado de muestras de afluente y efluente; este es un polímero de cadena repetida de Etileno $(CH_2)n$ (Cardona, Lavernia, & Alcerro, 2010), esta molécula se compone exclusivamente de átomos de hidrógeno y carbono, caracterizada por presentar propiedades sobresalientes a nivel mecánico y químico, como resistencia a la abrasión, impacto y despreciable reacción química (Bracco, Bellare, Bistolfi, & Affatato, 2017); las características de este polímero lo hacen un

material muy versátil y por ende de amplia aplicación en diferentes industrias, como la del empaque, construcción, agricultura, transporte, entre otros (Crawford & Quinn, 2016); a pesar de haberse publicado normativas para reducir el consumo de algunos productos elaborados con este y otros polímeros, se proyecta un incremento mundial del 3.2% anual del consumo de este polímero hasta el año 2026 (Escudero, 2021). Según cifras del MINAM (2017) cada peruano consume 30 Kg de plástico por año, en vista a los resultados se podría mencionar que el polietileno es el polímero materia prima de diferentes productos de uso cotidiano por la población de Ilo. Otro dato resaltante fue hallar MPs de menor dimensión que las del poro de la malla del tamiz más pequeño utilizado, 300 µm, se halló MPs hasta 55 µm de longitud, es un dato que se reporta también en investigaciones desarrolladas por Magni et al. (2019) y Lares, Ncibi, Sillanpää y Sillanpää (2018).

Las muestras de agua residual tomadas de la Planta de Tratamiento de Agua Residual – Media Luna (PTAR-ML), dan como resultado presencia de microplásticos (MPs) en cada una de las 12 muestras analizadas, hallándose una media de 67.5±11.7 y 17.4±1 MPs.L^{-1} en afluente y efluente respectivamente, es necesario mencionar que los resultados son aproximados, ya que a razón del enorme volumen de agua residual que se trata en la PTAR-ML, el volumen de agua residual analizada es muy baja, además añadir que el muestreo fue realizado sólo en época de avenida, entre enero y febrero del 2021. Como menciona Olmos (2021), las investigaciones sobre presencia de MPs en plantas de tratamiento de aguas residuales varían considerablemente; en el caso de la investigación desarrollada por Cabrera (2019), se halló 159 y 62 MPs.L^{-1} en afluente y efluente respectivamente, considerando para el contraste de esta información lo hallado en tamices de 1000 y 350 µm; así mismo Gies et al. (2018) determinó una frecuencia de 31.1 y 0.53 MPs.L^{-1} para el agua residual de ingreso y salida de la planta, son dos casos de muchos en los

cuales se comprueba que los resultados de la determinación de la presencia de MPs por litro de agua residual son bien variados, esto podría deberse a factores externos e internos de la planta de tratamiento de agua residual, en cuanto a factores internos podría deberse a la capacidad de tratamiento de la planta y al método de tratamiento del agua residual; en cuanto al factor externo podría deberse a los hábitos de consumo de los usuarios de la red de alcantarillado de la PTAR, así como a la deposición atmosférica de MPs; cabe también señalar que las investigaciones realizadas sobre el tema concluyen que las PTAR cumplen un gran papel en la contención de MPs, sirven de sumidero de este contaminante (Murphy, Ewins, Carbonnier, & Quinn, 2016a), pero a la vez es un gran emisor del mismo, esto debido a los grandes volúmenes de agua residual que procesa diariamente (Sun, Dai, Wang, Loosdrecht, & Ni, 2019). Según la morfología de microplásticos, se ha hallado seis de los diez tipos de microplásticos establecidos en la Sistema de Clasificación Estandarizada por Tamaño y Color (SCS, por sus siglas en inglés), con mayor frecuencia relativa a los microfragmentos y microfibras con 52% y 41% respectivamente, frecuencias menores a las fibras (3%), micropelícula (2%), microesfera (1%) y microespuma (1%). Los resultados mencionados tienen relevancia desde el punto de vista del tipo de microplástico según su origen, primario o secundario, y por haberse hallado más fragmentos que fibras; el 99% del microplástico hallado es de tipo secundario, el cual es el resultado de la fragmentación de un plástico de un tamaño mayor a 5 mm, sólo el 1% representa microplástico de tipo primario, esto podría indicar que el usuario de la red de alcantarillado de la provincia de Ilo o tiene poca preferencia por el consumo de productos que presentan como ingredientes a las partículas microplásticas o que estos productos no tienen amplia distribución en el mercado de la provincia de Ilo, en ambos casos es un dato positivo porque significa menos microplásticos en el agua residual, sin duda este resultado necesita investigarse a profundidad, además de un

monitoreo más amplio para afinar conclusiones. Al haberse hallado mayor frecuencia de microfragmentos es también un dato alentador, ya que los fragmentos, mediante el sistema de depuración que contemple la PTAR, pueden ser retenidos de mejor forma que las fibras (Olmos, 2021), la cual se atribuye justamente a su morfología (Freeman et al., 2020). Con relación a la identidad polimérica, los resultados reflejan 11 tipos de polímeros, entre ellos el Polietileno (PE), Poliamida (PA), Policloruro de Vinilo (PVC), Poliestireno (PS), Tereftalato de polietileno (PET), Polipropileno (PP), Poliéter sulfona (PES), Policarbonato (PC), Polimetilmetacrilato (PMMA), Polietileno de alta densidad (HDPE) y Polietileno de baja densidad (LDPE). El PE es el polímero con mayor frecuencia con un 39% del total de muestras analizadas, seguido de la PA y el PP con 17% y 11% respectivamente, otros polímeros tuvieron registros menores a 9%; estos resultados guardan cierta relación con los registros estadísticos de importación de productos terminados y materia prima plástica, por ejemplo en el primer trimestre del año 2020, la materia prima plástica con mayor volumen de importación fue el PE y PP, con 25,700 y 12,300 toneladas métricas (APIPLAST, 2020), las aplicaciones finales en general de la materia prima plástica importada son para sectores de construcción e infraestructura (22%), agricultura y horticultura (4%), fabricación de empaque flexible (33%), fabricación de empaque rígido (29%), bienes de consumo (2%), aplicaciones eléctricas (1%) y otros (9%) (Salazar, 2018). Como se aprecia la fabricación de empaque flexible y rígido representa el 62% de toda la materia prima que se importa, y dentro de la fabricación de empaque flexible no industrial se estima que alrededor de 45,000 toneladas métricas se destina para la fabricación de bolsas plásticas (Salazar, 2018); son datos que ayudan a entender los resultados de la presencia de MPs en el agua residual de la PTAR-ML ya que diferentes productos de cotidiano uso en los hogares vienen contenidos en envases de plástico y/o se usan como indumentaria. El segundo polímero con mayor frecuencia hallada fue el

Poliamida (PA), su aplicación típica es para la fabricación de fibras, cerdas, monofilamento, rodamientos y aplicaciones para automóviles (Crawford & Quinn, 2016), la presencia de este polímero en el agua residual apunta como origen al proceso de lavado de prendas sintéticas (Vollertsen & Hansen, 2017), el uso de lavadoras y consumo de prendas sintéticas está muy extendido en gran parte del mercado mundial, investigaciones como la desarrollada por Ziajahromi, Neale, Rintoul, y Leusch (2017), quienes hallaron a la PA como el polímero con la segunda mayor frecuencia con 28%, Cabrera (2019) también halló a la PA como el segundo polímero con mayor frecuencia (36%), finalmente Vollertsen & Hansen (2017) halló a la PA como el polímero con mayor frecuencia, en el agua residual sin tratar estuvo en un rango entre 76.6 a 76.8%, y en el agua residual tratada entre 77.3 a 78.6%. Se ha hallado un polímero que tiene bajos registros en investigaciones relacionadas, es la Polietersulfona (PES), este polímero resalta entre los polímeros termoplásticos por su alta resistencia al calor, su morfología amorfa y solubilidad en disolventes de baja polaridad (Benhalima, Hudon, Koulibaly, Tessier, & Brisson, 2012); su aplicación es muy diversa, en el sector eléctrico se usa como aislante, en otros sectores se utiliza para la fabricación de piezas que estarán sometidas a altas temperaturas como rodamientos y engranajes (MEXPOLIMERS, 2022), también es considerado una de los materiales poliméricos más importantes en la separación de campos (Zhao, Xue, Ran, & Sun, 2013), es por ello que es muy utilizado en la fabricación de productos para la Ultrafiltración (UF), Microfiltración (MF) y separación de gases (Alenazi, Hussein, Alamry, & Asiri, 2017), con este polímero se elaboran membranas para hemodiálisis, filtración de agua y pilas de combustible (Benhalima et al., 2012). Long et al. (2019) analizaron siete plantas de tratamiento de agua residual en Xiamen – China, hallaron al PES como uno de los principales polímeros con mayor frecuencia (3.3%), como se mencionó anteriormente no hay muchos registros de este

microplástico en plantas de tratamiento de aguas residuales, mas sí se ha hallado en productos alimenticios de consumo humano como la leche fluida, por ejemplo Kutralam-muniasamy, Pérez-guevara, Elizalde-martínez y Shruti (2020) analizaron muestras de 08 marcas de leche fluida, concluyeron que el PES es el polímero con mayor frecuencia en las mismas, además mencionan que esto podría deberse al mismo proceso industrial de producción, ya que este comprende de etapas de filtración; el PES y Polisulfona (PSU) son los polímeros más utilizados para elaborar membranas de Microfiltración y Ultrafiltración en los procesos de la industria alimenticia y láctea (Pouliot, 2008). En la provincia de Ilo se tendría que determinar cuáles son las fuentes de estos polímeros, en primera instancia habría que enfocarse en plantas de producción que contemplen alguna etapa de filtrado en sus procesos, así también en institución donde se hagan análisis de fluidos y cuenten con equipos de filtración. Un dato también que llamó la atención fue el hallazgo de MPs de dimensiones menores a la dimensión de los poros de la malla del tamiz que se utilizó (300 µm), especialmente microfragmentos de hasta 55 µm de diámetro, según Oliveira et al. (2016) esto podría deberse a que estos MPs se enredan o adhieren a partículas microplásticas más grandes, o también el MPs podría fragmentarse en el proceso de pretratamiento de las muestras, después del tamizaje, aunque aún este tema sigue siendo discutido en la literatura científica (Stolte et al., 2015). En las muestras analizadas se han identificado 11 tipos de polímeros, es un dato también de importancia porque según la bibliografía revisada, hay muchos estudios que registran no más de una decena de polímeros, entre 5 y 9 polímeros, esto podría deberse al compuesto utilizado en la etapa de separación por densidad en el pretratamiento de las muestras, se empleó Cloruro de Calcio (CaCl2) en vez del comúnmente utilizado Cloruro de Sodio (NaCl), esto para incrementar la densidad de la solución en la que se encuentran los MPs; el NaCl presenta una densidad menor que el $CaCl_2$, 1.2 $g.mL^{-1}$ y 1.3 $g.mL^{-1}$ respectivamente

(Stolte et al., 2015), el $CaCl_2$ al contar con mayor densidad tendría mayor eficacia en el proceso de separación por densidad. El valor mínimo de los rangos de densidad de los 11 tipos de polímeros hallados va de 0.88 a 1.37 $g.cm^3$ (Crawford & Quinn, 2016), específicamente el Polietersulfona (PES) sobrepasa el rango máximo de densidad conseguido en la solución con el empleo del $CaCl_2$, en teoría esto no debiera de haber sucedido, pero podría deberse a que estos polímeros más densos que la solución contengan burbujas de aire en su interior aumentando así su flotabilidad (Rochman et al., 2013). En relación al color de MPs, los resultados muestras mayores frecuencias relativas para colores como Oscuro (35%), Azul (20%) y Beige (12%), otros colores de MPs con menores frecuencias relativas se hallaron en Negro (9%), Marrón (6%), Verde (4%), Transparente (4%), Rojo (3%), Amarillo (2%), Rosado (2%), Anaranjado (1%), Blanco (1%) y Violeta (1%); los MPs color oscuro mayormente presentaron una morfología tipo microfragmento y MPs color azul en general presentaron morfología tipo microfibra, este tipo de clasificación de microplásticos difiere para cada investigación; en la investigación desarrollada por Cao et al. (2020), hallaron como colores predominantes al Transparente (37.14%), Azul (20.65%) y Negro (13.57%), por otro lado Murphy et al. (2016) obtuvo mayores frecuencias relativas en colores como Rojo (26.7%), Azul (25.4%) y Verde (19.1%). En base a los resultados obtenidos y las referencias mencionadas se puede indicar que los resultados acerca del color de MPs es relativa a la PTAR de la cual se han extraído las muestras, existen muchas variables que pueden influir en la composición porcentual de MPs según su color; es necesario mencionar que el color Azul está dentro de los colores de MPs con los mayores porcentajes, esto podría deberse especialmente a la preferencia del consumidor o consumo de determinados productos, ya sea como vestimenta, productos e incluso ingrediente de determinados productos de cuidado o limpieza personal. Con relación a la cuantificación de MPs, los resultados muestran la

identificación de 409 MPs, en afluente y efluente se hallaron 270 y 139 MPs respectivamente, para efectos de análisis se promedió los resultados del efluente, ya que son 02 efluentes de PTAR Media Luna ubicadas en paralelo, resultando finalmente 69.5 MPs para el efluente; al haberse realizado 04 muestreos se obtiene un promedio en afluente y efluente de 67.5±11.7 $MPs.L^{-1}$ y 17.4±1 $MPs.L^{-1}$ correspondientemente. Este último dato sobre cuantificación de MPs indica claramente un descenso de los mismos desde el afluente al efluente de la PTAR Media Luna, este resultado se ha obtenido en investigaciones realizadas por Ferrari (2019), Ding et al. (2020), Carr et al. (2016), Cabrera (2019), Xu et al. (2019b), Park et al. (2020b), Gies et al. (2018b), Magni et al. (2019), J. López-Castellanos, J. Bayo y S. Olmos (2019), López-Castellanos y Bayo (2019), Wolff et al. (2019), Leslie et al. (2017), Pivokonsky et al. (2018), Edo et al. (2020), Murphy et al. (2016b), Cao et al. (2020) y Gündoğdu, Çevik, Güzel, y Kilercioğlu (2018b). En la investigación desarrollada por Edo et al. (2020), hallaron 171±43 $MPs.L^{-1}$ y 10.7±5.2 $MPs.L^{-1}$ en afluente y efluente respectivamente, así también Cabrera (2019) determinó para el afluente 640 $MPs.L^{-1}$ y para el efluente 128 $MPs.L^{-1}$; en cada una de las referidas investigaciones se ha hallado más MPs en muestras de agua residual del afluente que del efluente. En tal sentido, si bien la frecuencia absoluta de MPs varía en cada investigación, en términos generales o específicos, considerando resultados sólo del afluente o efluente, se puede señalar que la frecuencia absoluta de MPs, en aguas residuales, tiende a descender considerablemente desde su entrada a la PTAR hasta su salida de la misma, es un resultado relevante hallado también en la presente investigación ya que indica dos puntos importantes, que las PTAR a pesar de que no fueron diseñadas para retener o eliminar MPs, por algún factor lo están haciendo, incluso con niveles de tratamiento de agua residual básicos como el empleado por la PTAR Media luna; otro punto importante es el descenso significativo de MPs por litro de

agua residual que se liberan al medio ambiente o al cuerpo de agua receptor, que en el caso de la PTAR Media Luna es la playa Media Luna, descenso que en el caso de Edo et al. (2020), Cabrera (2019) y la presente investigación, está entre 75% a 93.7%; a pesar que este dato sea positivo no deja de ser preocupante la liberación de MPs al medio ambiente ya que las PTAR por día tratan grandes volúmenes de agua residual; en el año 2020 la PTAR Media Luna por día liberó 7’234,441 L de agua residual tratada a playa Media Luna.

Los resultados obtenidos a pesar de ser aproximados podrían aplicarse como objeto de contraste con posteriores investigaciones similares en PTAR de sistemas equivalentes, desde el punto de vista académico los datos valdrían de soporte para determinar la efectividad de estos sistemas de tratamiento de agua residual en la retención o eliminación de MPs, a pesar que no estén diseñados para tal fin (Sun et al., 2019). Según la morfología de MPs, del total de MPs hallados, tan sólo el 1% representan al tipo microesferas (MBD), este es un dato importante ya que en base al resultado, podría indicar dos cosas, que productos que contienen MBD como las pastas dentales y otros productos de cuidado y limpieza personal (Leslie, 2014), no tienen amplia distribución en el mercado del puerto de Ilo o tales productos no tienen una demanda consdeirable, en ambos casos es un dato positivo porque directa o indirectamente se evita que este contaminante emergente llegue al medio ambiente a través de la PTAR-ML.

Ciertamente hace necesario profundizar la investigación sobre la presencia de microplásticos en el agua residual que ingresa y se libera de la PTAR-ML, es importante realizar un monitoreo profundo que contemple las estaciones del año y horas de caudal mínimo y máximo, además de ello sería recomendable realizar el monitoreo al ingreso del agua residual a las estaciones de bombeo, estructuras que forman parte del sistema de alcantarillado de la

Empresa Prestadora de Servicios ILO – S.A., a estas estructuras llegan las aguas residuales de sectores poblacionales determinados, de este modo se tendría información más precisa sobre presencia de microplásticos en el agua residual, y con ello enfocar estrategias de mitigación sobre esta problemática. Otro factor importante a investigar es el aporte atmosférico de MPs a la presencia de MPs en el agua residual de la PTAR-ML, ya que la planta presenta 5 lagunas totalmente expuestas, ubicadas en una zona ventosa; como se entiende la atmosfera es un conducto de relevancia para el transporte de materiales suspendidos a nivel local y mundial (Camarero, Bacardit, de Diego, & Arana, 2017), investigaciones han concluido que los MPs pueden ser transportados por medio del aire al mar e incluso a lugares remotos como lo mencionan Zhang, Gao, Kang y Sillanpää (2019), Allen et al. (2019) y Liu et al. (2019).

VII. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

Se ha registrado presencia de microplásticos (MPs) en agua residual de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Media Luna – Ilo.

Según la composición polimérica de MPs, se ha identificado 11 tipos de polímeros: Polietileno (PE), Poliamida/Nylon (PA), Polipropileno, Poliéter Sulfona (PES), Poliestireno (PS), Tereftalato de polietileno (PET), Policloruro de vinilo (PVC), Polimetilmetacrilato (PMMA), Polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno de baja densidad (LDPE) y Policarbonato (PC).

En cuanto al carácter físico de MPs, según el tamaño se halló mayor presencia de Minimicroplásticos (MMP) (89%) que de Microplástico (MP) (11%); según la morfología se halló 06 de los 10 tipos dentro de esta clasificación, con mayor frecuencia a microplásticos tipo Microfragmentos (MFR) y Microfibras (MFB), con 52% y 41% respectivamente; según el color predominaron colores como Oscuro (35%), Azul (20%) y Beige (12%).

Según la cuantificación de MPs, se ha cuantificado 409 microplásticos en las 12 muestras analizadas. El 80% de MPs hallados corresponde a muestras de afluente y el restante a muestras de efluente, de los 04 muestreos realizados se tiene un promedio 67.5±11.7 $MPs.L^{-1}$ y 17.4±1 $MPs.L^{-1}$ en afluente y efluente respectivamente.

VIII. Recomendaciones

Se recomienda desarrollar trabajos de investigación longitudinales que contemplen las diferentes estaciones del año para contar con una perspectiva más amplia y precisa de la presencia de microplásticos (MPs) en aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Media Luna - Ilo.

Es importante plantear investigaciones que aborden la dispersión y propagación de MPs en el cuerpo de agua receptor de efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Media Luna - Ilo, así como su impacto en organismos acuáticos y en la cadena trófica.

Se recomienda desarrollar investigaciones que determinen el efecto de parámetros físico-químicos del agua residual en las características físicas de microplásticos.

Referente a la metodología, en la etapa de separación por densidad, se recomienda, mientras se desarrolle la filtración por succión al vacío, reducir al mínimo la presión de la bomba de vacío, para no generar que, por la misma fuerza de succión, el material suspendido en la muestra se acumule en el contorno del filtro en contacto con el vaso de la bomba de vacío; este material acumulado podría dificultar el análisis de la muestra en etapa de microscopia óptica y/o en etapa de espectrometría.

IX. Bibliografía

Alenazi, N. A., Hussein, M. A., Alamry, K. A., & Asiri, A. M. (2017). Modified polyether-sulfone membrane: A mini review. *Designed Monomers and Polymers*, *20*(1), 532–546. https://doi.org/10.1080/15685551.2017.1398208

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., … Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, *12*(5), 339–344. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5

APIPLAST. (2020). Reporte estadistico de importaciones de materia prima - Abril 2020. In *APIPLAST*.

Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environmentA review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, *102*, 165–176. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013

Barcelo, L.;López, M. (2007). Contaminación y calidad química del agua: El problema de los contaminantes emergentes. *Fundación Nueva Cultura Del Agua*, 27.

Bayo, J., Martínez, A., Guillén, M., Olmos, S., Roca, M.-J., & Alcolea, Al. (2017). Microbeads in commercial facial cleansers: threatening the environment. *Clean - Soil, Air, Water*, *45*(6), 1–25. https://doi.org/10.1002/clen.201600163

Bayo, J., Olmos, S., & López-Castellanos, J. (2020). Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors.

Chemosphere, *238*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124593

Benhalima, A., Hudon, F., Koulibaly, F., Tessier, C., & Brisson, J. (2012). Polyethersulfone polymers and oligomers - Morphology and crystallization. *Canadian Journal of Chemistry*, *90*(10), 880–890. https://doi.org/10.1139/v2012-066

Bracco, P., Bellare, A., Bistolfi, A., & Affatato, S. (2017). Ultra-high molecular weight polyethylene: Influence of the chemical, physical and mechanical properties on thewear behavior. A review. *Materials*, *10*(7). https://doi.org/10.3390/ma10070791

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 and Technology*, *45*(21), 9175–9179. https://doi.org/10.1021/es201811s

C. Rochman, Mark Browne, Benjamin Halpern, Brian Hentschel, Eunha Hoh, Hrissi Karapanagioti, Lorena Ríos, Hideshige Tanaka, Swee Teh, R. T. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 6–8.

Cabrera, M. (2019). Evalución de la estación depuradora de agua residual (EDAR) - El Trocadero. *ResearchGate*, (July 2018).

Camarero, L., Bacardit, M., de Diego, A., & Arana, G. (2017). Decadal trends in atmospheric deposition in a high elevation station: Effects of climate and pollution on the long-range flux of metals and trace elements over SW Europe. *Atmospheric Environment*, *167*, 542–552. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.049

Cao, Y., Wang, Q., Ruan, Y., Wu, R., Chen, L., Zhang, K., & Lam, P. K. S. (2020). Intra-day

microplastic variations in wastewater: A case study of a sewage treatment plant in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, *160*(August), 111535. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111535

Cardona, D., Lavernia, C. J., & Alcerro, J. C. (2010). Polietileno. *Acta Ortopédica Mexicana*, *24*(2), 123–128.

Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, *91*, 174–182. https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002

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. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Cooper, D. A., & Corcoran, P. L. (2010). Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii. *Marine Pollution Bulletin*, *60*(5), 650–654. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.12.026

Cortés Martínez, F., Luévanos Rojas, A., Luévanos Rojas, R., Urangas Sifuentes, A., Mayela Ávila Garza, C., & González Barrios, J. (2011). Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes Configuraciones: (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México). *Revista Arquitectura e Ingeniería*, *5*(3), 1–15.

Crawford, C. B., & Quinn, B. (2016). Microplastic Pollutants. In *Microplastic Pollutants*. https://doi.org/10.1016/c2015-0-04315-5

Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastic identification techniques. In *Microplastic*

Pollutants. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809406-8.00010-4

De-la-torre, G. E. (2019). Microplásticos en el medio marino: una problemática que abordar. *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, *15*(4), 27–37.

Ding, N., An, D., Yin, X., & Sun, Y. (2020). Detection and evaluation of microbeads and other microplastics in wastewater treatment plant samples. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(13), 15878–15887. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08127-2

Duis, K., & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, *28*(1), 1–25. https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y

Dyachenko, A., Mitchell, J., & Arsem, N. (2017). Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. *Analytical Methods*, *9*(9), 1412–1418. https://doi.org/10.1039/c6ay02397e

Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2020). Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental Pollution*, *259*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113837

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, *75*, 63–82. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012

Elkhatib, D., & Oyanedel-Craver, V. (2020). A Critical Review of Extraction and Identification

Methods of Microplastics in Wastewater and Drinking Water. *Environmental Science and Technology*, *54*(12), 7037–7049. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06672

EPS ILO. (2004). *Gestión Institucional 2004*. Retrieved from https://www.epsilo.com.pe/uploads/Documentos/MemoriaAnual/Memoria 2004.pdf

EPS ILO. (2012). *Infraestructura De La Eps Ilo S . A. En Alcantarillado*. Ilo.

EPS ILO. (2018). *Memoria Anual*. Ilo.

Escudero, E. (2021). El mercado mundial del Polietileno crecerá 3.2% anual hasta 2026. Retrieved June 6, 2022, from Ambiente Plástico website: https://www.ambienteplastico.com/el-mercado-mundial-del-polietileno-crecera-3-2-anual-hasta-2026/

Ferrari, M. F. (2019). *Avalicao da presenca de microplásticos em esgoto sanitario do municipio de Campo Mourao - PR*.

Freeman, S., Booth, A. M., Sabbah, I., Tiller, R., Dierking, J., Klun, K., … Angel, D. L. (2020). Between source and sea: The role of wastewater treatment in reducing marine microplastics. *Journal of Environmental Management*, *266*(October 2019), 110642. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110642

Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, *138*(November 2018), 145–147. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022

Gall, S. C., & Thompson, R. C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution*

Bulletin, *92*(1–2), 170–179. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041

Gies, E. A., LeNoble, J. L., Noël, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E. R., & Ross, P. S. (2018). Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, *133*(March), 553–561. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.006

Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., & Kilercioğlu, S. (2018a). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, *190*(11). https://doi.org/10.1007/s10661-018-7010-y

Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., & Kilercioğlu, S. (2018b). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, *190*(11). https://doi.org/10.1007/s10661-018-7010-y

Hidayaturrahman, H., & Lee, T. G. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, *146*(May), 696–702. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.071

J. López-Castellanos, J. Bayo, S. O. (2019). Emergentes y ubicuos: microplásticos en aguas residuales y EDAR. *TecnoAqua*, 86–91.

Kutralam-muniasamy, G., Pérez-guevara, F., Elizalde-martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Science of the Total Environment Branded milks – Are they immune from microplastics

contamination ? *Science of the Total Environment*, *714*, 136823. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823

Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*, *133*, 236–246. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049

Leslie, H. A. (2014). Review of Microplastics in Cosmetics. *IVM Institute for Environmental Studies*, *476*(July), 33.

Leslie, H. A., Brandsma, S. H., van Velzen, M. J. M., & Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, *101*, 133–142. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.018

Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., & Li, D. (2019). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Science of the Total Environment*, *675*, 462–471. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.110

Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., … Jin, X. (2019). Microplastic Abundance, Characteristics, and Removal in Wastewater Treatment Plants in a Coastal City of China. *Water Research*. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028

Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., … Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of the Total Environment*, *652*, 602–610. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.269

Magnusson, K., & Norén, F. (2014). Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. *IVL Swedish Environmental Research Institute*, *C 55*(C), 22. https://doi.org/naturvardsverket-2226

Manrique Muñante, R. E. (2019). Microplásticos sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15030

Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., … Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, *218*, 1045–1054. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056

MEXPOLIMERS. (2022). Polietersulfona - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos. Retrieved June 20, 2022, from Mexpolimers website: https://www.mexpolimeros.com/pes.html

MINAM. (2010). Decreto Supremo Nº 003-2010-MINAM Aprueban Limites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano*, 1–2. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

MINAM. (2017). Cifras del mundo y el Perú | Menos Plástico Más Vida. Retrieved February 4, 2020, from MINAM website: http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/#_ftn3

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2009). Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales. *Manual Para Municipios Ecoeficientes*, (511), 179. Retrieved from

https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054

Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, *108*, 365–372. https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016a). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology*, *50*(11), 5800–5808. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016b). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology*, *50*(11), 5800–5808. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416

Murray, G. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2013–2025. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265

Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, *99*(1–2), 178–185. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.029

Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, *112*(1–2), 39–45. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025

OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Oliveira, R., Silva, M. L., Regina, M., Marques, C., & Araújo, F. V. De. (2016). Evaluation of microplastics in Jurujuba Cove , Niterói , RJ , Brazil , an area of mussels farming. *Marine Pollution Bulletin*. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.037

Olmos, S. (2021). Presencia y evolución de microplásticos en estaciones depuradoras de aguas residuales de la región de Murcia: Propuesta de las mejores tecnologías disponibles para una emisión cero. *Universidad Politénica de Cartagena*, 249.

ONU. (2018). Plásticos de un solo uso: una hoja de ruta para la sostenibilidad. In *ONU Medio Ambiente*. https://doi.org/10.1038/s41415-019-0765-x

Organización Mundial de la Salud. (2020). *Agua limpia y saneamiento*. https://doi.org/10.18356/64118cb4-es

Pachari, O. (2020). *Especificaciones técnicas de las diferentes fases de la infraestructura de la PTAR ML*. Ilo.

Park, H. J., Oh, M. J., Kim, P. G., Kim, G., Jeong, D. H., Ju, B. K., … Kwon, J. H. (2020a). National Reconnaissance Survey of Microplastics in Municipal Wastewater Treatment Plants in Korea. *Environmental Science and Technology*, *54*(3), 1503–1512. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04929

Park, H. J., Oh, M. J., Kim, P. G., Kim, G., Jeong, D. H., Ju, B. K., … Kwon, J. H. (2020b). National Reconnaissance Survey of Microplastics in Municipal Wastewater Treatment Plants in Korea. *Environmental Science and Technology*, *54*(3), 1503–1512.

https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04929

Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the Total Environment*, *643*, 1644–1651. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102

Pouliot, Y. (2008). Membrane processes in dairy technology — From a simple idea to worldwide panacea. *International Dairy Journal*, *18*, 735–740. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.005

Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Per. *Revista Peruana de Biologia*, *24*(1), 101–106. https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724

Ramalho, R. (1994). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Retrieved from https://es.slideshare.net/IngAmbientalMX/tratamiento-de-aguas-residuales-rs-ramalho?from_action=save

Reisser, J., Shaw, J., Wilcox, C., Hardesty, B. D., Proietti, M., Thums, M., & Pattiaratchi, C. (2013). Marine plastic pollution in waters around Australia: Characteristics, concentrations, and pathways. *PLoS ONE*, *8*(11). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080466

Rios, D. (2017). Caracterización de los microplásticos e identificación de su origen, en el balneario Costa Azul, Ventanilla – Callao 2017. *Universidad César Vallejo*.

Rogers, K. (2020). polymer | Description, Examples, & Types | Britannica. Retrieved August 24, 2020, from Enciclopaedia Britanica website: https://www.britannica.com/science/polymer

Ryan, P. G., Moore, C. J., Van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 1999–2012. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207

Salazar. (2018). Percepción Frente a Los Proyectos De Ley Sobre El Plástico De Un Solo Uso. In *Sociedad Nacional de Industrias (SNI)*. Retrieved from http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2018/Produccion/files/ppt/4ta_(2)sesion_presentación_ing._salazar_congreso_02-10-18.pdf

Salazar, J. (2016). Análisis Del Sector Plástico En El Peru. *APIPLAST*. Retrieved from http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/sni-presentacion.pdf

Sánchez Juan. (2017, April 5). La industria plástica en el Perú – MAXIMIXE | Alerta Económica. Retrieved July 21, 2020, from MAXIMIXE website: https://alertaeconomica.com/la-industria-plastica-en-el-peru/

Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, *93*(3), 561–584. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008

SNI. (2019). Reporte Sectorial - Plastico. *Instituto de Estudios Económicos y Sociales*, 1–19. Retrieved from https://www.sni.org.pe/wp-content/uploads/2019/07/Reporte-Sectorial-Plásticos_2019.pdf

Stolte, A., Forster, S., Gerdts, G., & Schubert, H. (2015). Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Marine Pollution Bulletin*, *99*(1–2), 216–229.

https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.022

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., Loosdrecht, M. C. M. Van, & Ni, B. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants : Detection , occurrence and removal. *Water Research*, *152*, 21–37. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050

SUNASS. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*, *I*, 150. Retrieved from http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf.L

Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J. P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., & Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology*, *72*(9), 1495–1504. https://doi.org/10.2166/wst.2015.360

Thermofisher. (2018). FTIR Sample Techniques: Attenuated Total Reflection (ATR) | Thermo Fisher Scientific - PE. Retrieved August 16, 2020, from Thermofisher website: https://www.thermofisher.com/pe/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy-information/ftir-information/ftir-sample-handling-techniques/ftir-sample-handling-tec

Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., … Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, *304*(5672), 838. https://doi.org/10.1126/science.1094559

Tiwari, M., Rathod, T. D., Ajmal, P. Y., Bhangare, R. C., & Sahu, S. K. (2019). Distribution and

characterization of microplastics in beach sand from three different Indian coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, *140*(October 2018), 262–273. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.055

Ugolini, A., Ungherese, G., Ciofini, M., Lapucci, A., & Camaiti, M. (2013). Microplastic debris in sandhoppers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *129*(June), 19–22. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.026

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. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007

Vermaire, J. C., Pomeroy, C., Herczegh, S. M., Haggart, O., & Murphy, M. (2017). Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *Facets*, *2*(1), 301–314. https://doi.org/10.1139/facets-2016-0070

Vermillion. (2020). What Are Single-use Plastics and Should They Be Banned? | HowStuffWorks. Retrieved February 3, 2020, from https://science.howstuffworks.com/environmental/conservation/issues/single-use-plastics.htm

Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *130*, 54–61. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.022

Vollertsen, J., & Hansen, A. A. (2017). Microplastic in Danish wastewater: Sources, ocurrences

and fate. In *The Danish Environmental Protection Agency* (Vol. 4). Retrieved from https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2017/mar/mikroplast-i-renseanlaeg/

Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., & Müller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water Research X*, *2*(December), 100014. https://doi.org/10.1016/j.wroa.2018.100014

Xu, X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q., & Wang, L. P. (2019a). Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal. *Chemosphere*, *235*, 1089–1096. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.197

Xu, X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q., & Wang, L. P. (2019b). Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal. *Chemosphere*, *235*, 1089–1096. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.197

Yang, Y., Rodriguez-jorquera, I. A., Mcguire, M., & Toor, G. S. (2015). Contaminants in the Urban Environment : What Are Microplastics ? What Are the Sources of. *IFA Extension - UF*.

Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., & Sillanpää, M. (2019). Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. *Environmental Pollution*, *254*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121

Zhao, C., Xue, J., Ran, F., & Sun, S. (2013). Modification of polyethersulfone membranes - A review of methods. *Progress in Materials Science*, *58*(1), 76–150. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.07.002

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. L. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*, *112*, 93–99. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.042

X. Anexos

Anexo 1. Codificación para plásticos de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials – ASTM)

Tabla 17

Clasificación internacional de plásticos - Codificación ASTM

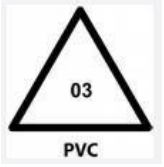
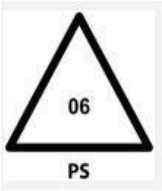
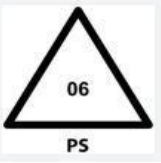
Código	Plástico	Abreviación	Aplicación típica
	Tereftalato de polietileno	PET	Botellas de bebidas Contenedores de comida Película y láminas Fornido Fibras Lana Material de relleno
	Polietileno de alta densidad	HDPE	Contenedores de productos químicos Botellas de bebidas Contenedores de comida Cajas Cubos Tubería
	Cloruro de polietileno (rígido)	PVC	Contenedores Cable eléctrico Tubería Canalones Revestimiento Marcos de ventana

Tabla 17 (Continuación)

Clasificación internacional de plásticos - Codificación ASTM

Código	Plástico	Abreviación	Aplicación típica
	Cloruro de polietileno (plastificada)	PVC	Aislamiento de cables Manguera de jardín Calzado Chapas Piso Esteras
	Poliestireno (rígido)	PS	Cubiertos y vajillas desechables Desechable rígido Contenedores de comida Otros de bajo costo aplicaciones que requieren rigidez
	Poliestireno (rígido)	PS	Envases y vasos de comida desechables Espuma de embalaje Cajas de espuma Aislamiento térmico

Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2016)

Anexo 2. Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) en el ámbito de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS).

Tabla 18

PTAR en el ámbito de las EPS (Toma de datos hasta julio 2014)

EPS	Número de PTAR		
	Existentes		
	En funcionamiento (EPS o en Transferencia)	Paralizada	En construcción
EMUSAP AMAZONAS	-	-	-
SEDA HUANUCO SA	3	-	-
EMAPACOP SA	1	-	2
EPS SEDALORETO SA	1	-	-
EMAPA CAÑETE S.A.	2	-	3
EMSA PUNO S.A.	3	-	-
EPSSMU S.R.L.	-	-	-
SEDACAJ S.A.	-	-	2
EPS TACNA S.A.	2	-	-
AGUAS DE TUMBES	17	-	-
EMAPA PASCO S.A.	-	-	1
EMAPISCO S.A.	2	-	-
EMAPAVIGS SAC	2	-	1
SEDACHIMBOTE *SA*	6	2	-
EPSA SA	3	-	-
EMAPA SAN Martín SA	1	-	1
EMAPAT S.R.L	-	-	-
SEMAPACH S.A.	5	1	-
EPS SELVA CENTRAL S.A.	3	1	-
EMAPA MOYOBAMBA S.R.L.	-	-	-
EMAPA HUANCAVELICA S.A.C.	-	-	-
EPS MOOUEGUA S.A.	3	-	1
EMAPA Y S.R.L	-	-	-
EMAPA HUARAL S.A.	-	-	-

Tabla 18 (Continuación)

PTAR en el ámbito de las EPS (Toma de datos hasta julio 2014)

Número de PTAR			
EPS	Existentes		En construcción
	En funcionamiento (EPS o en Transferencia)	Paralizada	
EMAPA HUACHO S.A.	-	-	-
SEDAPAL	22	1	1
EPS ILO S. A.	1	-	-
SEDALIB SA.	12	-	1
EPSEL S.A.	24	1	6
SEDAPAR S.A.	8	-	3
EPS - SEDACUSCO S.A.	1	-	
EPS GRAU S.A.	28	2	2
EPS CHAVIN SA	-	-	
EMAQ S.R.L.	-	-	1
EMAPAS S.R.L	-	-	-
SEMAPA BARRANCA S.A.	1	-	-
EMAPICA S.A.	4	1	-
EMPSSAL S.A.	-	-	1
EPS SIERRA CENTRAL S.R.L	-	-	-
NORPUNO SA.	1	-	-
SEDA JULIACA S.A.	1	-	-
EPS MANTARO S.A.	2	-	1
EMUSAP ABANCAY S.A.C.	-	-	1
EMSAP CHANKA S.C.R.L.	-	-	-
EPS MARAÑON S.R.L	3	-	3
SEDAM HUANCAYO S.A.C	-	-	-
EMSAPA CALCA S.R.L	-	-	-
EPSAGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L.	-	-	1
EMPSAPA YAULI S.R.L.	-	-	-
SEDAPAR S.R.L	-	-	-
TOTAL	163	9	32

Fuente: Adaptado de SUNASS (2015)

Anexo 3. Materiales, reactivos y equipos requeridos

Tabla 19

Materiales requeridos para desarrollo de tesis – Lista

N°	Equipos y materiales	Cantidad	Especificaciones
1	GPS	1	± 3 m de error
2	Tamices de acero inoxidable	4	8" diámetro x 2" profundidad
3	Malla 5 mm	1	ASTM E-11 N° 230
6	Malla 300 µm	1	ASTM E-11 N° 230
7	Cooler	1	45 L
9	Papel aluminio (Rollo)	2	16 m x 30 cm
10	Vaso de vidrio	1	1 L
11	Soporte de metal	1	50 cm alto
12	Cinta masking	2	18mmx50m
13	Vaso de precipitados	4	250 mL
14	Agua destilada	1	20 L
15	Espátula de metal	1	15 cm longitud
16	Piseta	1	500 mL
17	Frasco de vidrio	4	125 mL
19	Chaleco salva vidas	1	Resistencia 85 kg
20	Bote zodiac	1	

Tabla 20

Requerimiento de reactivos para pretratamiento de muestras

N°	Reactivos	Fórmula química	CAS	Especificación
1	Cloruro de Calcio	$CaCl_2$	10043-52-4	disolver la sal en agua desionizada a 5,5 g / L
3	Sulfato ferroso heptahidratado	$FeSO_4 * 7\ H_2O$	7782-63-0	0,05 M
4	Peróxido de hidrógeno	H_2O_2	7722-84-1	al 30%
5	Agua destilada	H_2O		

Tabla 21

Equipos requeridos para desarrollo de tesis

N°	Equipos y materiales	Cantidad	Especificaciones
1	Balanza analítica	1	precisión de 0,1 mg
2	Estufa	1	EcoCell
3	Agitador magnético	1	200 rpm
4	Tamices pequeños	4	(59 mm x 30 mm)
5	Cocinilla	1	ThermoScientific CIMAREC
	Placa calefactora digital	1	Rango de temperatura: 50 - 200 °C
6	Microscopio digital	1	magnificación 40X
7	Vasos de precipitados	4	800 mL
8	Vasos de precipitados	8	500 ml
9	Termómetro digital	2	Con sonda no menor de 15 cm
10	Pinzas de metal	1	punta fina
11	Piseta	1	500 mL
12	Espátula de metal	1	pequeña
13	Vidrio de reloj	4	diámetro del vaso de precipitados
14	Separador de densidad	4	122 mm de diámetro
15	Soporte universal y nuez	2	
16	Anillo de hierro	8	7 cm diámetro x 20 cm largo
17	Abrazadera de resorte (2")	8	
18	Papel aluminio	1	16 m x 30 cm
19	Bomba de vacío	1	Vacuunbrand (S/N 39537305)
20	Tamizador	1	ELE Internacional
21	Papel filtro	100	N° 41, ϕ 125 mm

Anexo 4. Caracterización de MPs por tamaño, morfología y color según el Sistema Estandarizado de Clasificación por tamaño y color (Standardised Size and Colour Sorting System – SCS)

Tabla 22

Categorización de microplásticos basado en el tamaño

Categoría	Abreviación	Tamaño	Definición
Macroplástico	MAP	≥ 25 mm	Cualquier pieza de plástico de tamaño igual o mayor a 25 mm en su dimensión más larga
Mesoplástico	MEP	< 25 mm - 5 mm	Cualquier pieza de plástico de menos de 25 mm a 5 mm de tamaño en su dimensión más larga
Plástico	PLT	< 5 mm	Todas las piezas de plástico de menos de 5 mm en su dimensión más larga
Microplástico	**MP**	**< 5 mm - 1 mm**	**Cualquier pieza de plástico de menos de 5 mm a 1 mm en su dimensión más larga**
Minimicroplástico	**MMP**	**< 1 mm - 1 µm**	**Cualquier pieza de plástico de menos de 1 mm a 1 µm de tamaño en su dimensión más larga**
Nanoplástico	NP	< 1 µm	Cualquier pieza de plástico de menos de 1 µm de tamaño en su dimensión más larga

Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2016)

Tabla 23

Categorización basada en la morfología

Abreviación	Tipo	Tamaño	Definición
PT	Esfera	< 5 mm - 1 mm	Pequeña pieza esférica de plástico de menos de 5 mm a 1 mm de diámetro.
MBD	Microesfera	< 1 mm - 1 µm	Pequeña pieza esférica de plástico de menos de 1 mm a 1 µm de diámetro.
FR	fragmento	< 5 mm - 1 mm	Una pieza de plástico de forma irregular de menos de 5 mm a 1 mm de tamaño a lo largo de su dimensión más larga
MFR	Microfragmento	< 1 mm - 1 µm	Una pieza de plástico de forma irregular de menos de 1 mm a 1 µm de tamaño a lo largo de su dimensión más larga
FB	Fibra	< 5 mm - 1 mm	Una hebra o filamento de plástico de menos de 5 mm a 1 mm de tamaño en su dimensión más larga.
MFB	Microfibra	< 1 mm - 1 µm	Una hebra o filamento de plástico de menos de 1 mm a 1 µm de tamaño en su dimensión más larga.
FI	Película	< 5 mm - 1 mm	Una lámina delgada o pieza de plástico similar a una membrana de menos de 5 mm a 1 mm de tamaño a lo largo de su dimensión más larga
MFI	Micropelícula	< 1 mm - 1 µm	Una lámina delgada o pieza de plástico similar a una membrana de menos de 1 mm a 1 µm de tamaño a lo largo de su dimensión más larga
FM	Espuma	< 5 mm - 1 mm	Un trozo de esponja, espuma o material plástico similar a la espuma de menos de 5 mm a 1 mm de tamaño a lo largo de su dimensión más larga.
MFM	Microespuma	< 1 mm - 1 µm	Un trozo de esponja, espuma o material plástico similar a la espuma de menos de 1 mm a 1 µm de tamaño a lo largo de su dimensión más larga.

Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2016)

Tabla 24

Categorización basada en el color

Color	Abreviación	Color	Abreviación
Cualquier color	ALL	Brillante	LT
Todo opaco	AO	Metálico	MT
Todo transparente	AT	Olivo	OL
Ambar	AM	Opaco	OP
Beige	BG	Anaranjado	OR
Negro	BK	Rosado	PK
Azul	BL	Morado	PR
Marrón	BN	Rojo	RD
Bronce	BZ	Plateado	SV
Carbón	CH	Moteado	SP
Claro	CL	Tostado	TN
Oscuro	DK	Transparente	TP
Oro	GD	Turquesa	TQ
Verde	GN	Violeta	VT
Gris	GY	Blanco	WT
Marfil	IV	Amarillo	YL

Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2016)

Anexo 5. Código de abreviatura de polímeros

Tabla 25

Código de abreviaturas de polímeros

Polímero	Abreviación
Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS
Acrilato-estireno-acrilonitrilo	ASA
Caucho de butadieno	BR
Acetato de celulosa	CA
Acetato-butirato de celulosa	CAB
Propionato de acetato de celulosa	CAP
Poliestireno expandido	EPS
Etileno acetato de vinilo	EVA
Polietileno de alta densidad	HDPE
Metacrilato de hidroxietilo	HEMA
Poliestireno de alto impacto	HIPS
Polietileno de baja densidad	LDPE
Polietileno lineal de baja densidad	LLDPE
Caucho natural	NR
Poliamida (nailon)	PA
Nilón 6	PA 6
Nilón 6,10	PA 610
Nilón 6,6	PA 66
Copolímero de nailon 6,6 / 6,10	PA 66/100
Nilón 11	PA 11
Nilón 12	PA 12
Poliarilamida	PAA
Polibutileno	PB
Tereftalato de polibutileno	PBT

Tabla 25 (Continuación)

Código de abreviaturas de polímeros

Polímero	Abreviación
Policarbonato	PC
Policaprolatona	PCL
Polietileno	PE
Poliéter sulfona	PES
Tereftalato de polietileno	PET
Polietilentereftalato de glicol modificado	PETG
Fenol formaldehído	PF
Perfluoroalcoxi alcano	PFA
Polihidroxibutirato	PHB
Poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato)	PHBV
Polihidroxivalerato	PHV
Poliimida	PI
Polipropileno	PP
Poliestireno	PS
Polisulfona	PSU
Politetrafluoroetileno	PTFE
Tereftalato de politrimetileno	PIT
Poliuretano	PUR
Acetato de polivinilo	PVA
Polivinil butytral	PVB
Cloruro de polivinilo	PVC
Cloruro de polivinilo clorado	PVCC
Cloruro de polivinilideno	PVDC
Fluoruro de polivinilideno	PVDF

Tabla 25 (Continuación)

Código de abreviaturas de polímeros

Polímero	Abreviación
Fluoruro de polivinilo	PVF
Alcohol de polivinilo	PVOH
Estireno acrilonitrilo	SAN
Caucho estireno-butadieno	SBR
Estireno-butadieno-estireno	SBS
Estireno-etileno-butadieno-estireno	SEBS
Estireno-isopreno-estireno	SIS
Anhídrido maleico de estireno	SMA
poliuretano termoplástico	TPUR
Urea formaldehído	UF
Polietileno de peso molecular ultra alto	UHMWPE
Polietileno reticulado	XLPE
Poliestireno extruido	XPS

Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2016)

Anexo 6. Programa de muestreo de agua residual - PTAR-ML

Tabla 26

Programa de muestreo de agua residual - PTAR-ML

PROGRAMA DE MUESTREO DE AGUA RESIDUAL - PTAR-ML																				
Punto de muestreo		**Código punto de muestreo**	**Unidad de medida**	**11/01/2021**	**12/01/2021**	**13/01/2021**	**14/01/2021**	**18/01/2021**	**19/01/2021**	**20/01/2021**	**21/01/2021**	**25/01/2021**	**26/01/2021**	**27/01/2021**	**28/01/2021**	**1/02/2021**	**2/02/2021**	**3/02/2021**	**4/02/2021**	**Número de muestras por punto de muestreo**
FRACCIÓN LÍQUIDA Y ACUOSA	Afluente	A	(L)	1				1				1				1				4
	Laguna aireada	Zona fótica	LA1	(L)		1				1				1				1			4
		Zona facultativa	LA2	(L)			1				1				1				1		4
		Zona anaerobia	LA3	(g)				25				25				25				25	4
		Efluente laguna aireada	ELA	(L)	1				1				1				1				4
	Laguna secundaria	Zona fótica	LS1-1	(L)		1				1				1				1			4
		Zona facultativa	LS1-2	(L)			1				1				1				1		4
		Zona anaerobia	LS1-3	(g)				25				25				25				25	4
		Efluente laguna secundaria	ELS-1	(L)	1				1				1				1				4
	Laguna secundaria	Zona fótica	LS2-1	(L)		1				1				1				1			4
		Zona facultativa	LS2-2	(L)			1				1				1				1		4
		Zona anaerobia	LS2-3	(g)				25				25				25				25	4
		Efluente laguna secundaria	ELS-2	(L)	1				1				1				1				4
	Laguna terciaria 1	Zona fótica	LT1-1	(L)		1				1				1				1			4
		Zona facultativa	LT1-2	(L)			1				1				1				1		4
		Zona anaerobia	LT1-3	(g)				25				25				25				25	4
		Efluente laguna terciaria 1	ELT-1	(L)	1				1				1				1				4
	Laguna terciaria 2	Zona fótica	LT2-1	(L)		1				1				1				1			4
		Zona facultativa	LT2-2	(L)			1				1				1				1		4
		Zona anaerobia	LT2-3	(g)				25				25				25				25	4
		Efluente laguna terciaria 2	ELT-2	(L)	1				1				1				1				4
Volumen y peso total de muestras por día					6	5	5	125	6	5	5	125	6	5	5	125	6	5	5	125	84

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Resumen de estudios anteriores para la comparación con el presente estudio

Tabla 27

Resumen de estudios anteriores para la comparación con el presente estudio

N°	Ciudad/País	Capacidad (m3/día)	Población	Nivel de tratamiento	Fuente de agua residual	Volumen de muestra / muestreo (L)	Compuesto - separador por densidad	Método de identificación	**Microplásticos** (Ítems/L)		Referencia
									Influente	Efluente	
1	Cádiz/España	7437	6×10^4	Secundario	Municipal	10 - 30	Cloruro de sodio (NaCl)	Visual/FTIR	640.6	128.6	Cabrera (2019)
2	España/Cartagena	35000	2.1×10^5	Secundario	Municipal/Industrial	0.47 - 13	Cloruro de sodio (NaCl)	Visual/ATR-FTIR	3.2	0.31	Bayo et al. (2020)
3	Rüsselsheim/Alemania	10000	9.85×10^4	Secundario	Municipal	40 - 200	Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$)	Espectrometría RAMAN	-	5.9	Wolff et al. (2019)
4	Holanda	9205	1.3 x 104	Secundario	Municipal/Industrial	2	Cloruro de sodio (NaCl)	ATR-FTIR	68 - 910	55 - 81	Leslie et al. (2017)
5	Madrid/España	45000	-	Secundario	Municipal	25	Cloruro de sodio (NaCl)	µFTIR	171 ± 43	10.7 ± 5.2	Edo et al. (2020)
6	República Checa	8.64×10^6	6×10^4	Terciario	Municipal	1	-	FTIR/RAMAN	1812 ± 35	338 ± 76	Pivokonsky et al. (2018)
7	República Checa	7.77×10^6	1.3×10^5	Terciario	Municipal	1	-	FTIR/RAMAN	3605 ± 497	628 ± 28	Pivokonsky et al. (2018)
8	Este estudio (Ilo/Perú)	9589	74×10^3	Secundario	Municipal/Industrial	1	Cloruro de Calcio ($CaCl_2$)	µFTIR/Visual	67.5 ± 11.7	17.4 ± 1	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Matriz de consistencia

Tabla 28

Matriz de consistencia proyecto de tesis

MATRIZ DE CONSISTENCIA

DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE MICROPLASTICOS (MP) EN AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MEDIA LUNA, ILO - 2020

Planteamiento del problema	Objetivos	Variables e indicadores				
Pregunta de investigación	**Objetivo general**	**Variable de caracterización**	**Muestra**	**Nivel, Tipo y Diseño**	**Métodos y técnicas**	**Estadística**
¿Cómo es la presencia de microplásticos en el agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales media luna?	Determinar la presencia de microplásticos en el agua residual de la planta de tratamiento de agua residual media luna	Microplásticos (Composición polimérica, morfología, tamaño, color)	Colecta de muestras de agua residual de la fracción líquida (12 muestras)	Descriptiva, prospectiva, no experimental cualitativo	Muestreo, Análisis microscópico, Análisis espectrométrico, Análisis estadístico	Medidas de tendencia central $\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n}$ Medidas de dispersión $S = \pm\frac{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}}{n}$
	Objetivos específicos	**Variable interés**				
	Identificar la composición polimérica de microplásticos presentes en muestras de agua residual.	Agua residual (Litros)				
	Caracterizar físicamente microplásticos.					
	Cuantificar microplásticos					

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Panel fotográfico ejecución de tesis

Figura 25

Materiales, equipos y vehículo utilizados para el muestreo de agua residual - PTAR-ML – Ilo



Figura 26

Realizando muestreo en afluente de la PTAR-ML – Ilo.

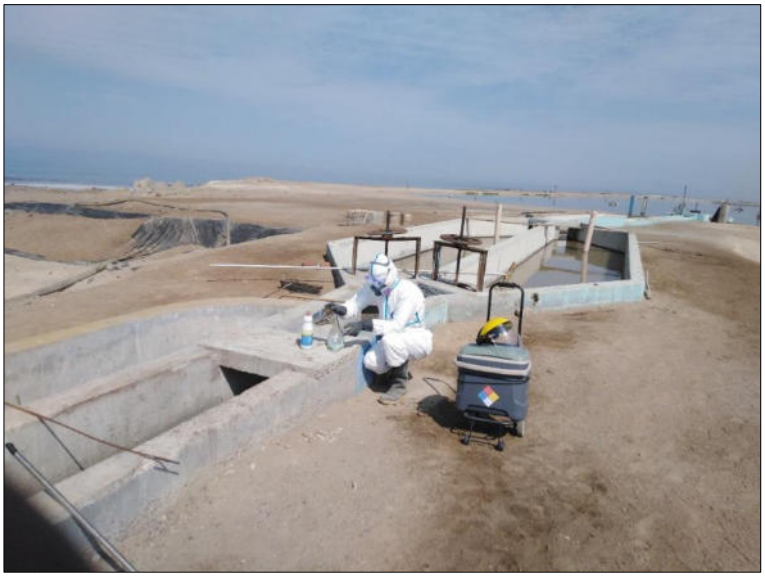


Figura 27

Ingresando a laguna secundaria 1 para toma de muestra de agua residual de zona fótica - PTAR-ML – Ilo.



Figura 28

Utilizando contenedor de metal para toma de muestras de zona fótica del perfil de agua de la laguna secundaria 1 (LS1-1), mismo instrumento se utilizó para toma de muestras de afluente de la PTAR-ML Ilo y efluente de cada laguna.



Figura 29

Utilizando pipeta prefabricada de PVC para toma de muestras de zona facultativa del perfil de agua de la laguna secundaria 1 (LS1-2), tapando uno de los ingresos se crea presión que impide el ingreso del fluido, al introducir verticalmente el instrumento hasta 50 cm de profundidad se retiró la tapa para provocar el ingreso del fluido - PTAR-ML – Ilo.



Figura 30

Utilizando pipeta prefabricada de PVC para toma de muestras de zona anaeróbica del perfil de agua de la laguna secundaria 1 (LS1-3), tapando uno de los ingresos se crea presión que impide el ingreso del fluido, al introducir verticalmente el instrumento hasta 200 cm de profundidad se retiró la tapa para provocar el ingreso del fluido - PTAR-ML – Ilo.



Figura 31

Sometiendo a agitación durante 01 hora muestra acuosa de zona anaeróbica - Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM

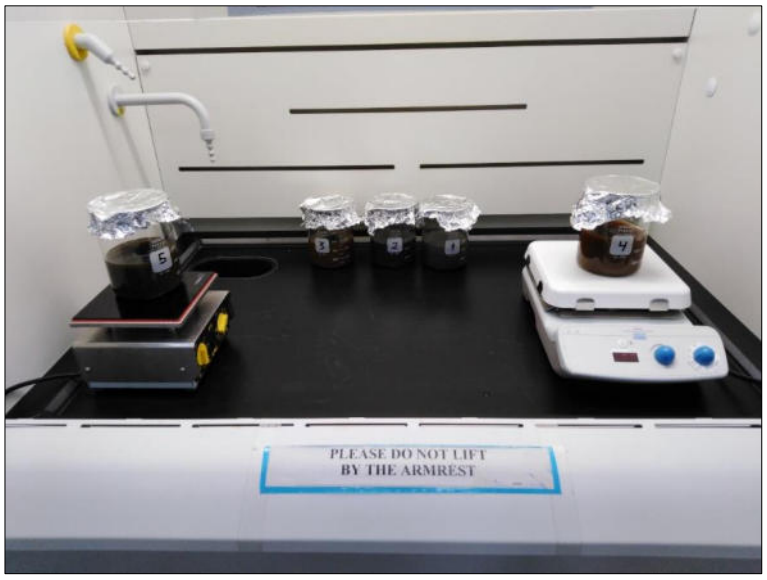


Figura 32

Proceso de pipeteo de sobrenadante de muestra acuosa - Laboratorio de calidad de agua – UNAM



Figura 33

Sobrenadante de muestras acuosas de Laguna aireada (1), Laguna secundaria 1 (2), Laguna secundaria 2 (3), Laguna terciaria 1 (4), Laguna terciaria 2 (5), las muestras traspasadas a vasos de precipitados listas para el proceso de secado en estufa a 90 °C por 24 horas. Laboratorio de Calidad de Agua – Universidad Nacional de Moquegua.



Figura 34

Sometiendo a calor, 90 °C por 24 horas, muestras de Afluente (1), Efluente laguna aireada (2), Efluente laguna secundaria uno (3), Efluente laguna secundaria dos (4), Efluente laguna terciaria uno (5) y Efluente laguna terciaria (6), las mismas previamente fueron tamizadas y traspasadas a vasos de precipitados de 600 mL. Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM.



Figura 35

Proceso de oxidación de materia orgánica, sometiendo a agitación y calor solución de hierro Fe(II) y H_2O_2 al 30%, 20 mL de cada uno. Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM.

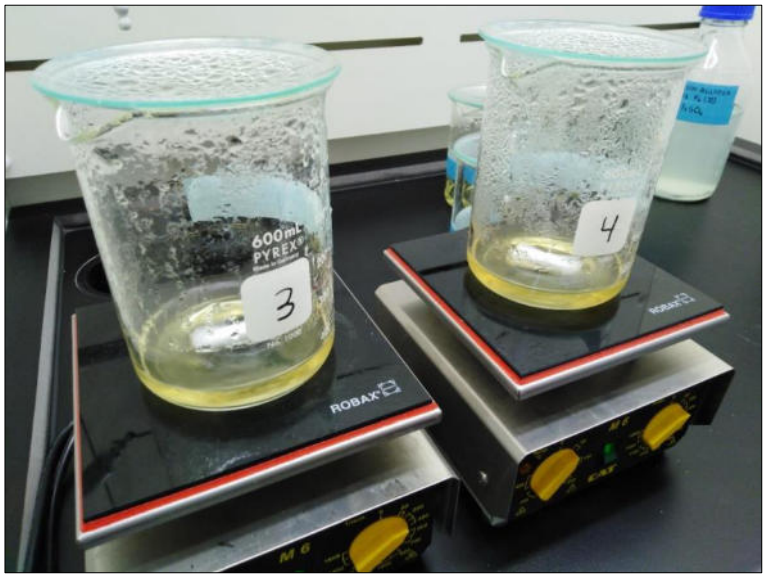


Figura 36

Proceso de separación por densidad, posterior a la digestión de la materia orgánica se agregó 19 g $CaCl_2$ para aumentar la densidad de la solución a 1,3 g/cc en 100 mL de solución - Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM.

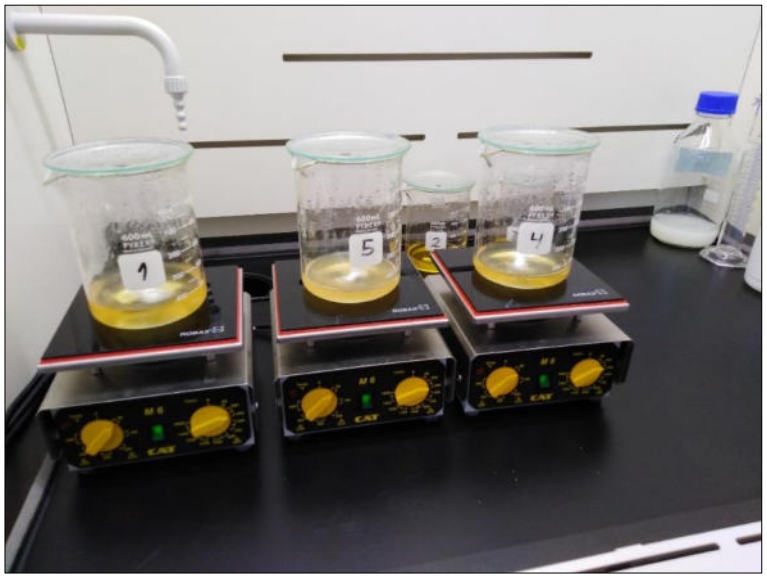


Figura 37

Proceso de separación por densidad, muestras traspasadas a peras de decantación de 250 mL para asentar sólidos por 24 horas. Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM.



Figura 38

Proceso de drenaje de sólidos asentados en las peras de decantación para luego colectar los sólidos suspendidos sobre papel filtro Whatman de 47 mm ø mediante succión con bomba de vacío. Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM



Figura 39

Proceso de caracterización de MPs por tamaño, morfología y color. Utilizando Microscopio óptico Olympus BX43 con cámara microscópica digital Olympus DP74 acoplada al mismo, objetivo 10x - Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM.



Figura 40

Preservación y protección de muestra contenida en placa de Petri y sellada con cinta Parafilm para evitar la contaminación cruzada y deterioro por transporte. Laboratorio de Calidad de Agua – UNAM.



Figura 41

Análisis espectrométrico. Mapeo superficial de muestras para determinar presencia de polímeros en muestras pretratadas, flecha indica ubicación de la muestra para su análisis. Equipo PerkinElmer Spotlight 200, Laboratorio de Análisis Instrumental, Universidad Autónoma de Coahuila - México.



Figura 42

Diploma de capacitación en equipos FTIR y espectroscopia infrarroja, desarrollada por ThermoFisher Scientific.



Anexo 10. Espectros infrarrojos y espectros de referencia de polímeros identificados

Figura 43

Espectro infrarrojo de Polietileno (PE) en muestra (A) y espectro de referencia (B), código de muestra “1-110121” – Afluente.

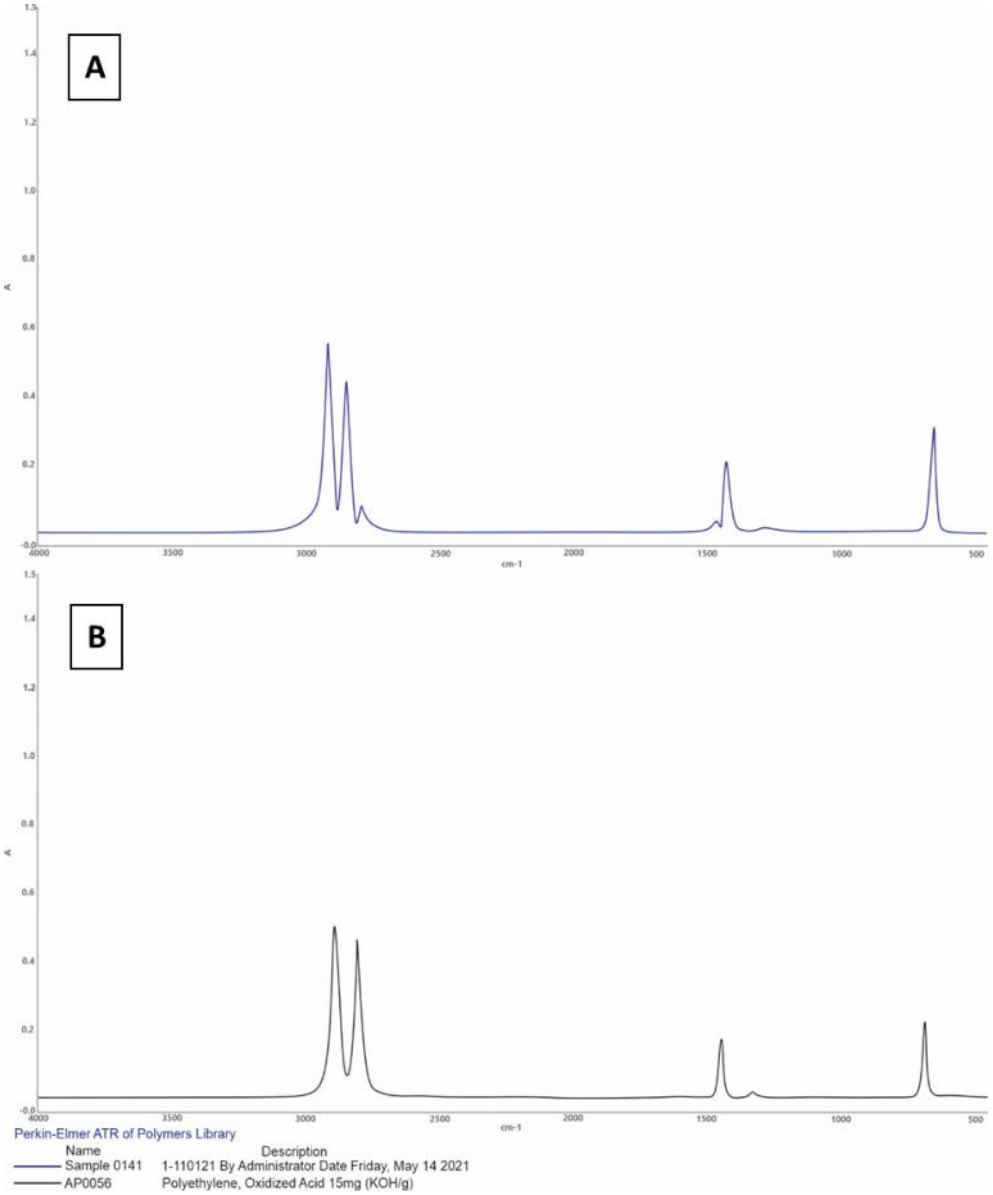


Figura 44

Espectro infrarrojo de Poliamida / Nylon 6,9 (PA 6-9) en muestra (A) y de espectro referencia (B), código de muestra "1-110121" – Afluente.

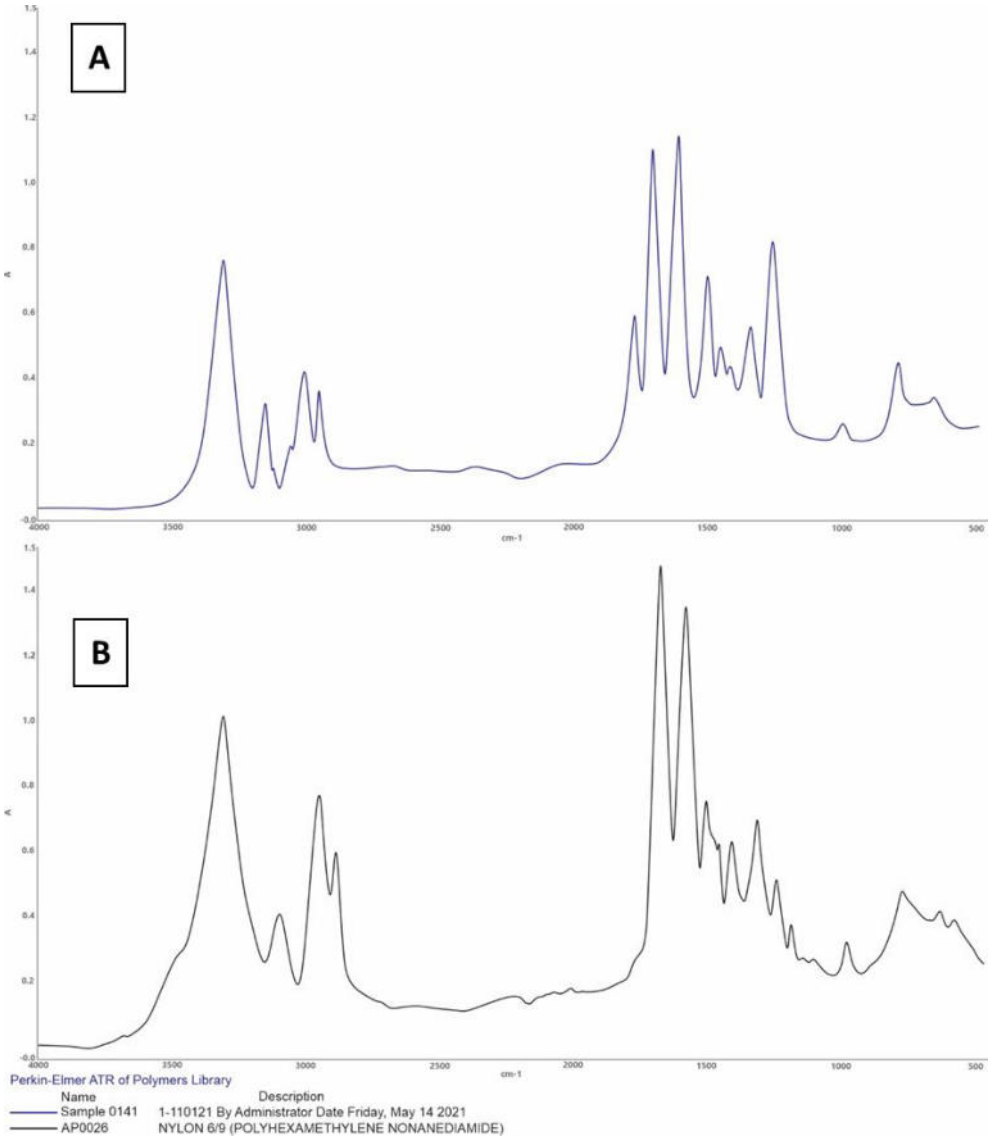


Figura 45

Espectro infrarrojo de Polipropileno (PP) en muestra (A) y espectro de referencia (B), código de muestra "1-110121" – Afluente

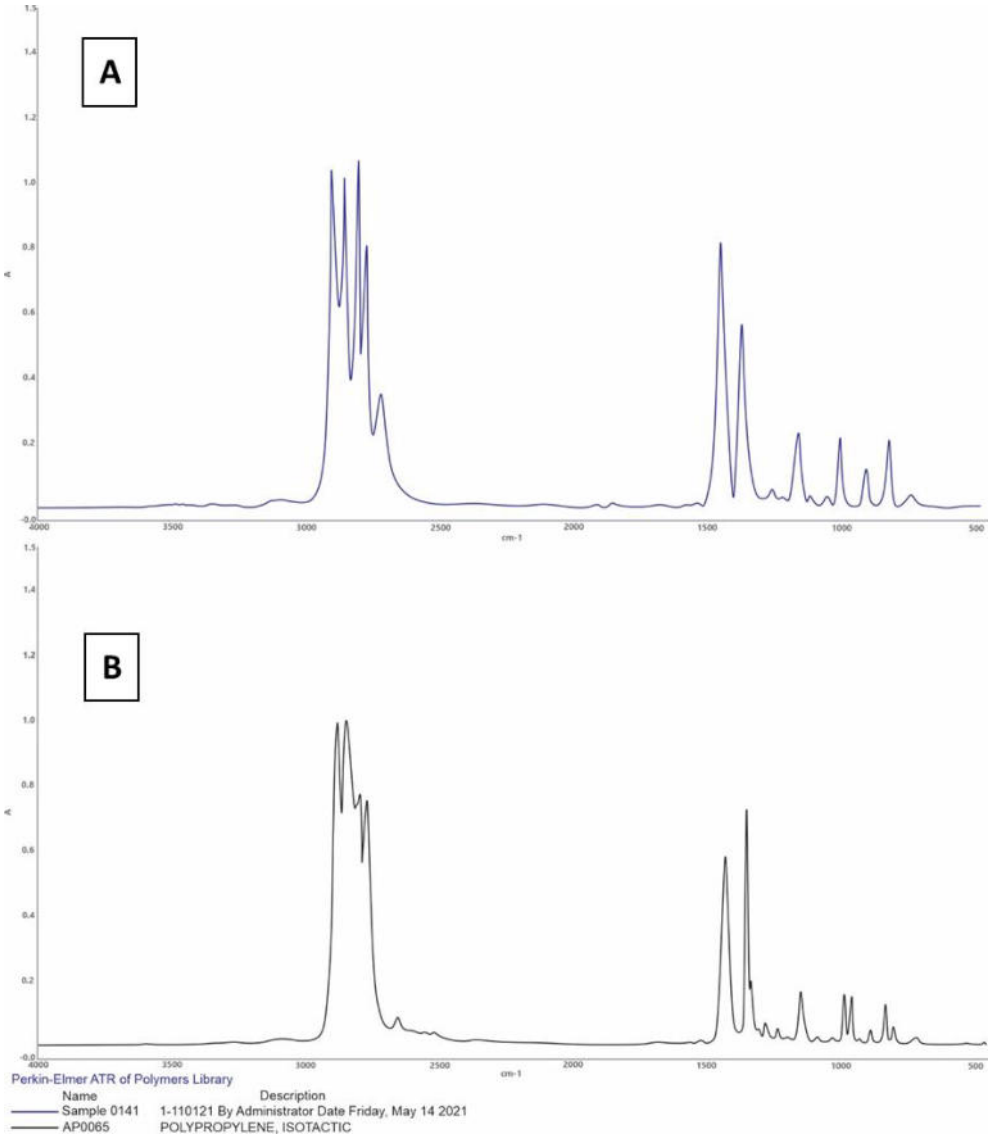


Figura 46

Espectro FTIR de Polietileno tereftalato (PET) en muestra (A) y espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente

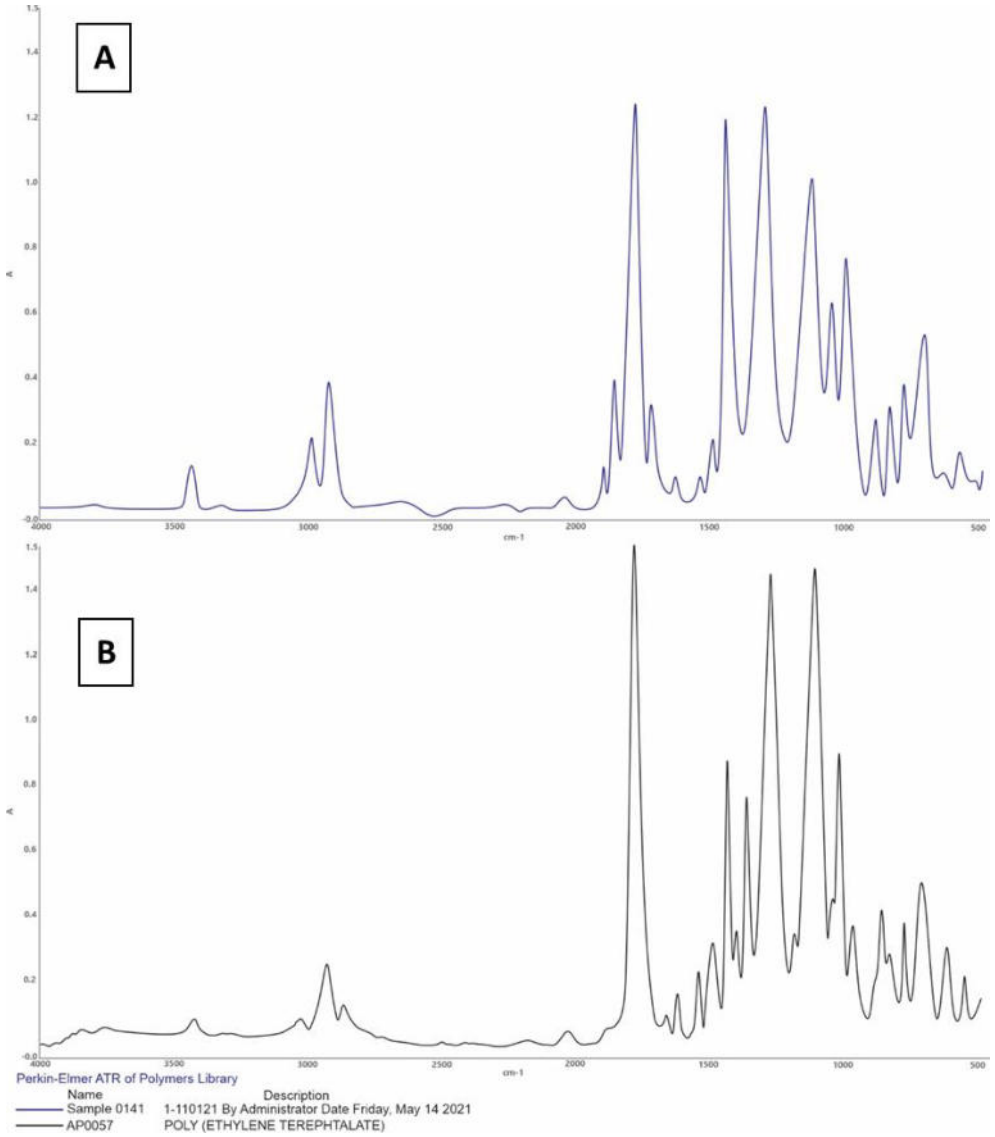


Figura 47

Espectro FTIR de Policarbonato (PC) en muestra (A) y espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente

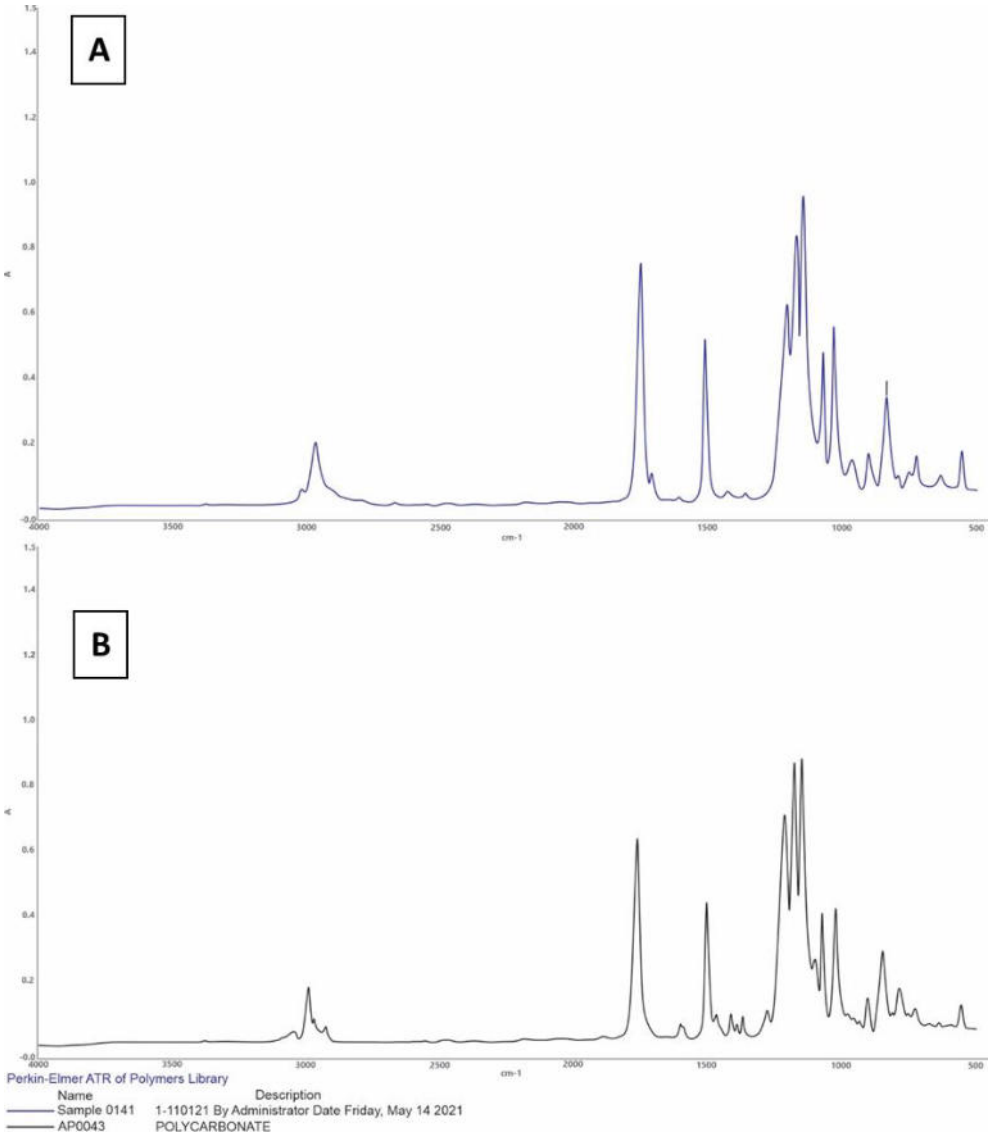


Figura 48

Espectro FTIR de Policloruro de vinilo (PVC) en muestra (A) y espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente.

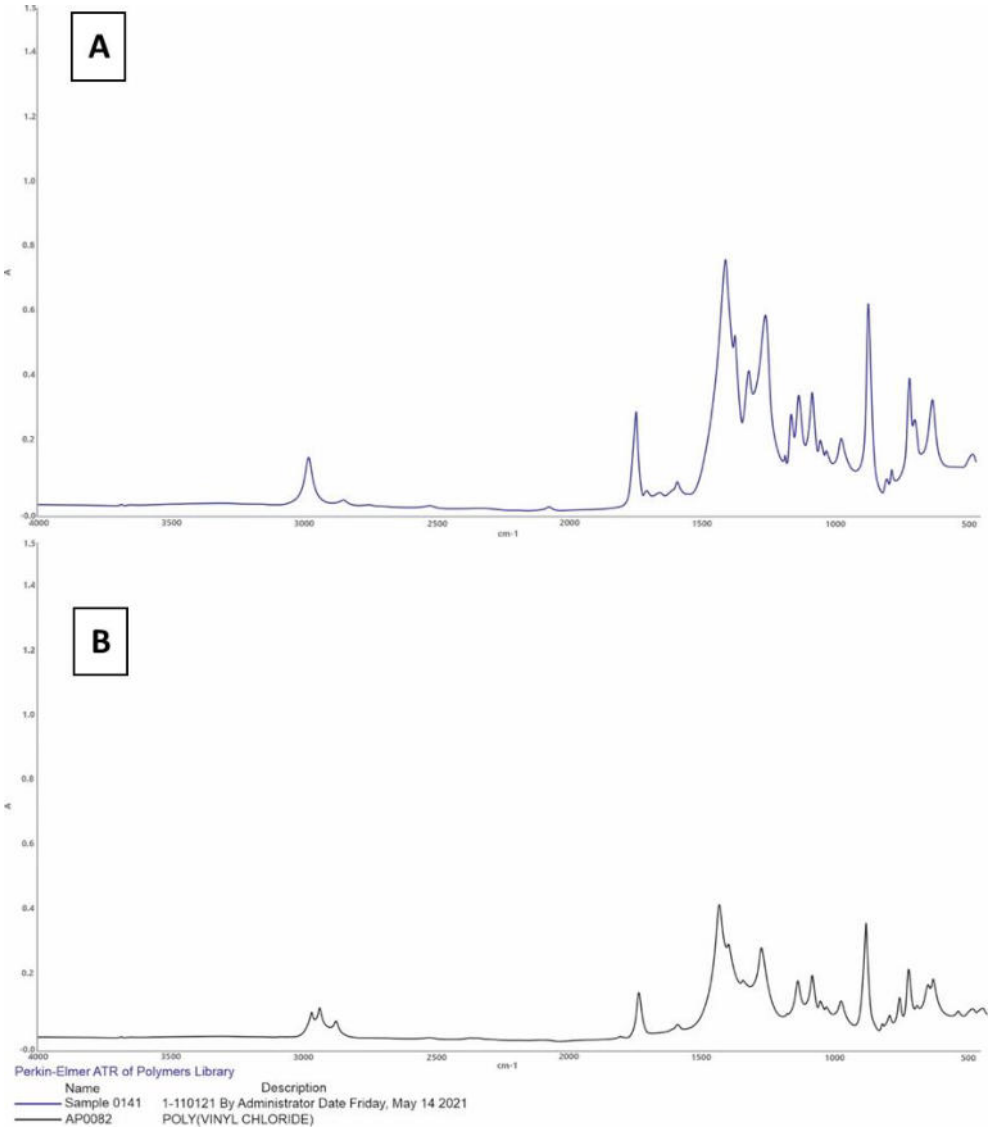


Figura 49

Espectro FTIR de Poliéter Sulfona (PES) en muestra (A) y espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente

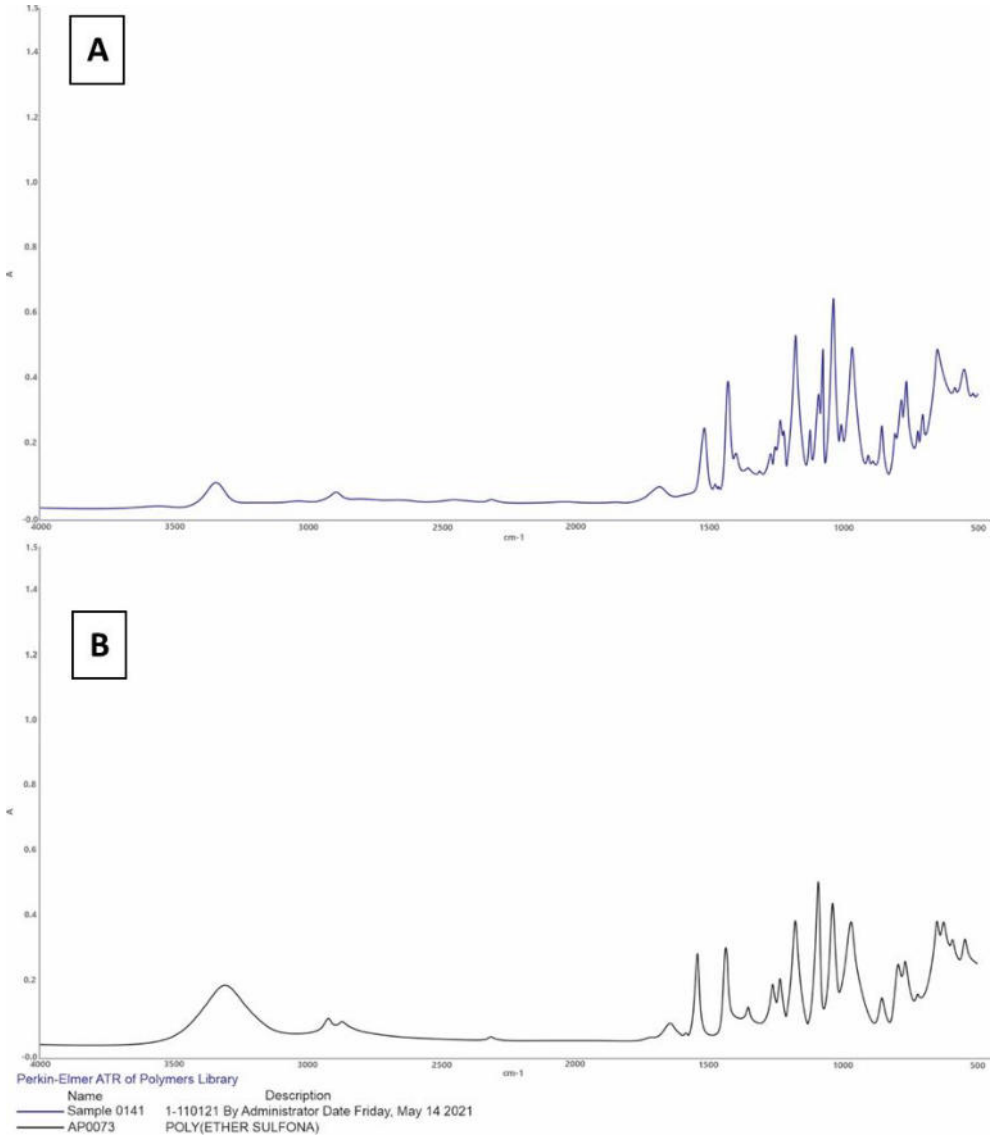


Figura 50

Espectro FTIR de Polietileno de alta densidad (HDPE) en muestra (A) y de espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente

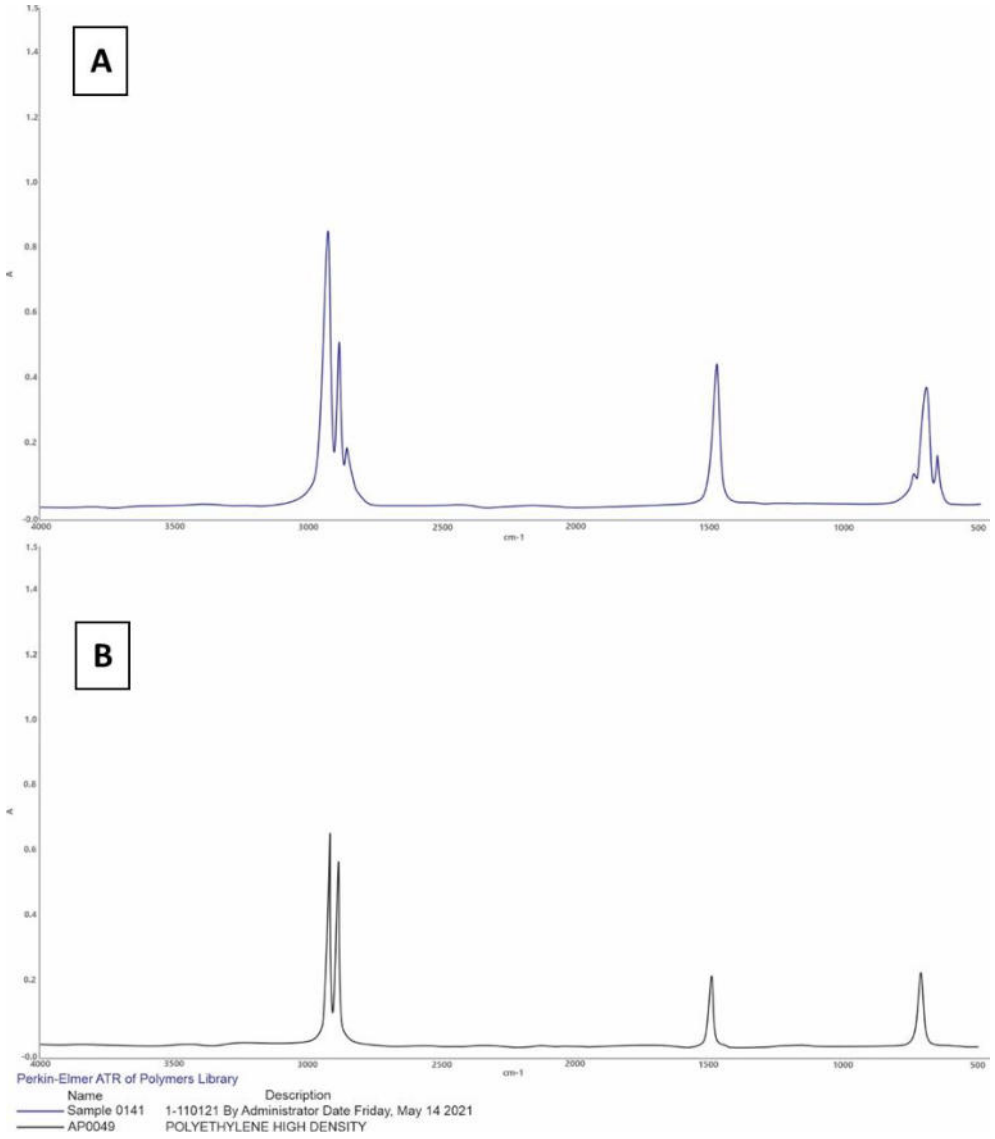


Figura 51

Espectro FTIR de Polietileno de baja densidad (LDPE) en muestra (A) de espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-250121" – Afluente

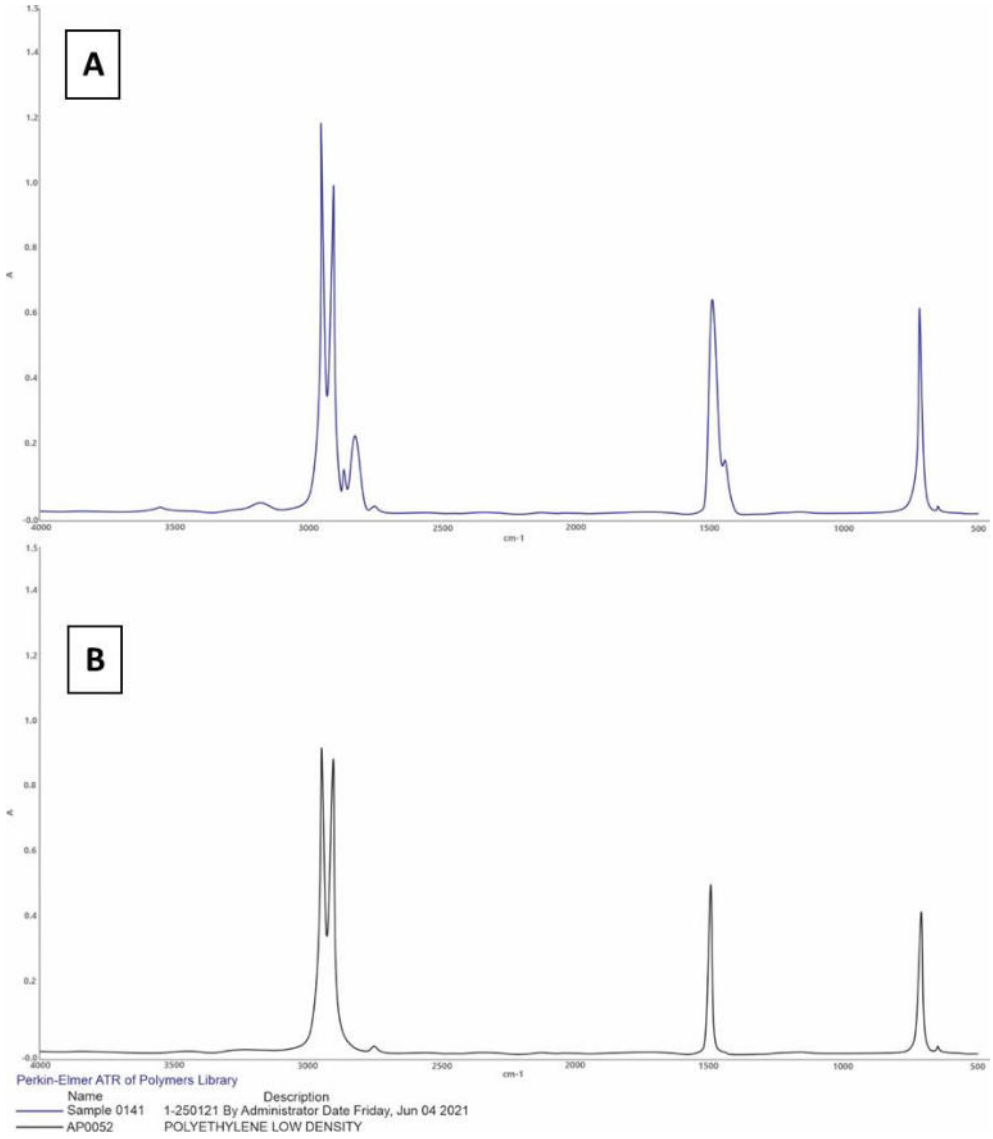


Figura 52

Espectro FTIR de Polimetilmetacrilato (PMMA) en muestra (A) y de espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente

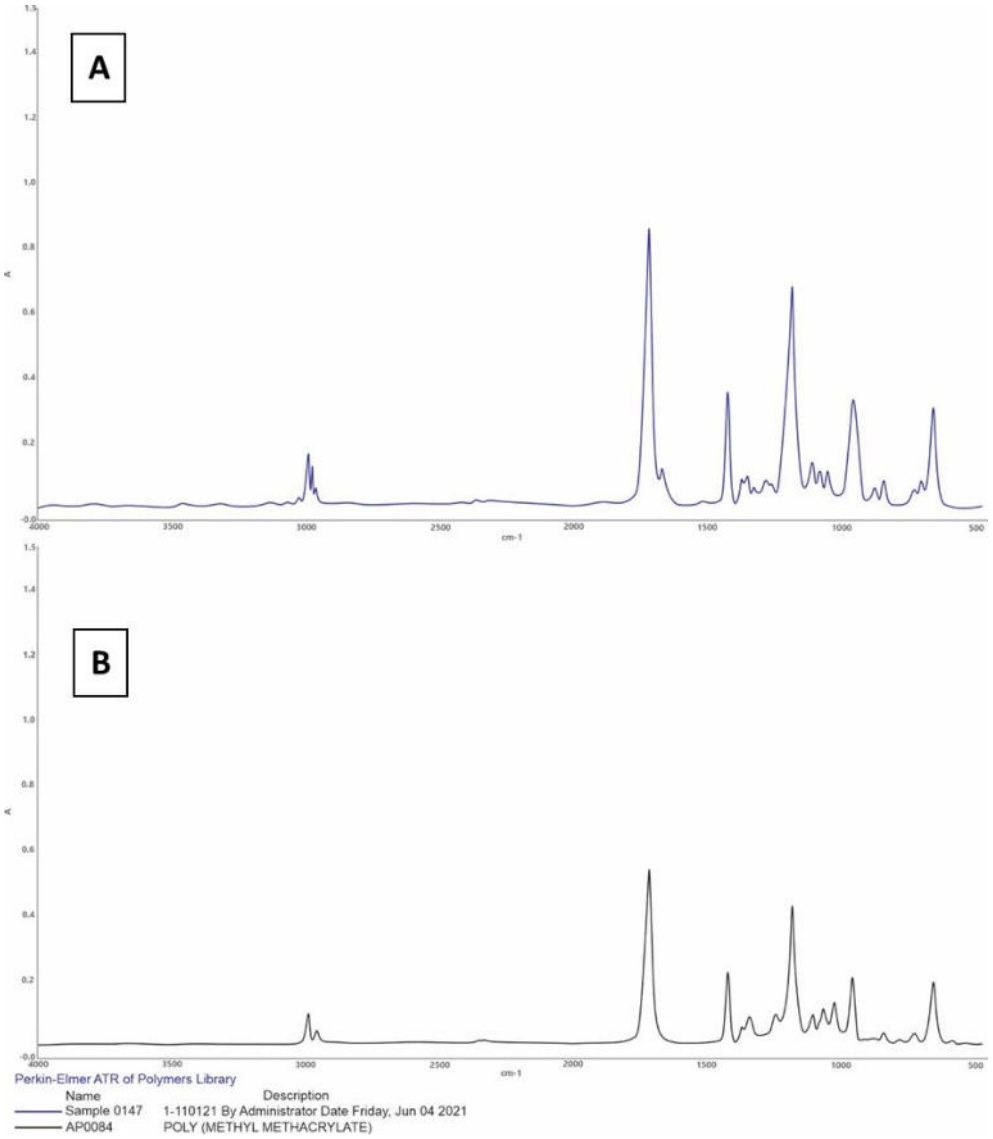
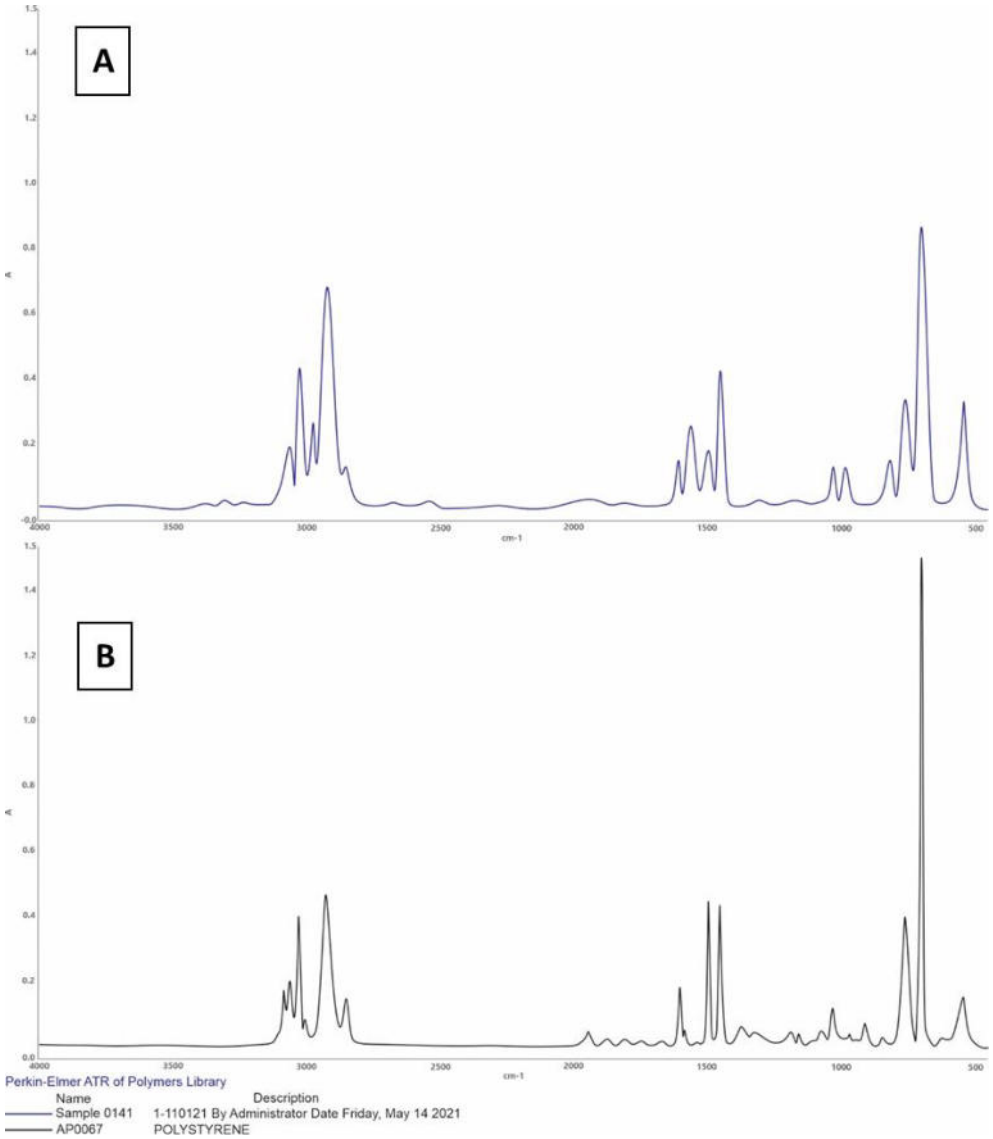


Figura 53

Espectro FTIR de Poliestireno (PS) en muestra (A) y de espectro de referencia (B), hallado en muestra "1-110121" – Afluente.



Anexo 11. Informe de análisis espectrométrico

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

INFORME DE ENSAYO N° 0073-2021-LAI

1. INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante:	David Josue Fuentes Mamani	**Código Lab:**	LAI-2021
Teléfono:	0051-972834466	**Fecha de ensayo:**	07/05/2021 – 09/07/2021
		Fecha de Informe:	12/07/2021
Correo electrónico:	davidfu7i7@gmail.com		

2. INFORMACIÓN DE MUESTRAS

Tipo:	Muestra seca dispuesta sobre disco de celulosa de 47 mm ø.	**Código:**	Blanco 01
		T° recepción:	Ambiente
		Número:	01
Empaque primario:	Placas de Petri con tapa, sellada con cinta Parafilm.		
Descripción del solicitante:	Agua destilada pretratada según metodología de la NOAA para muestras de agua, filtrada sobre disco de papel filtro Whatman de 47 mm de ø.		

Tipo:	Muestra seca de agua residual dispuesta sobre disco de celulosa de 47 mm ø.	**Código:**	M1, M5, M6-11/01/21, 18/01/21, 25/01/21, 01/02/21
		T° recepción:	Ambiente
		Número:	12
Empaque primario:	Placas de Petri con tapa, sellada con cinta Parafilm.		
Descripción del solicitante:	Agua residual pretratada según metodología de la NOAA para muestras de agua, filtrada sobre disco de papel filtro Whatman de 47 mm de ø.		



Boulevard Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas Valdés Colonia República, Saltillo, CP25280, Coahuila, México.
Tels. 415-15-57-52 / 415-70-15 Fax 415-95-34

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

3. RESULTADOS:

Equipo: Microscopio FT-IR PerkinElmer Spotlight 200
Metodología: Microscopía FT-IR
Fecha análisis: 14/05/2021 – 09/07/2021
Unidades eje X: cm^{-1}
Valor inicio eje X: 4000
Valor final eje X: 500
Intervalo de datos: -2
Unidades eje Y: Absorbancia (A)



Polímeros

Nº	Código muestra	Identidad polimérica	Abreviación	Abundancia (Unidades)
1	Blanco 01	Ninguna	-	-
2	1-11/01/21	Polietileno	PE	26
		Polipropileno	PP	02
		Poliestireno	PS	04
		Tereftalato de polietileno	PET	03
		Poliamida/Nylon	PA	09
		Cloruro de polivinilo	PVC	01
		Policarbonato	PC	01
		Poliéter Sulfona	PES	09
		Polimetilmetacrilato	PMMA	04
3	5-11/01/21	Polietileno	PE	07
		Poliamida/Nylon	PA	04
		Tereftalato de polietileno	PET	01
		Poliestireno	PS	01
		Polimetilmetacrilato	PMMA	01
		Poliéter Sulfona	PES	03
4	6-11/01/21	Polietileno	PE	05
		Poliestireno	PS	02
		Poliamida/Nylon	PA	07
		Tereftalato de polietileno	PET	02
		Poliéter Sulfona	PES	04
5	1-18/01/21	Polietileno	PE	29
		Poliestireno	PS	08
		Polipropileno	PP	10
		Tereftalato de polietileno	PET	04
		Polietileno de alta densidad	HDPE	01
		Poliamida/Nylon	PA	18
		Cloruro de polivinilo	PVC	03
		Polimetilmetacrilato	PMMA	04
		Poliéter Sulfona	PES	05

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

N°	Código muestra	Identidad polimérica	Abreviación	Abundancia (Unidades)
6	5-18/01/21	Polietileno	PE	09
		Poliestireno	PS	02
		Polipropileno	PP	01
		Tereftalato de polietileno	PET	03
		Poliamida/Nylon	PA	04
		Cloruro de polivinilo	PVC	01
7	6-18/01/21	Polietileno	PE	08
		Polipropileno	PP	01
		Poliamida/Nylon	PA	01
		Polimetilmetacrilato	PMMA	01
		Tereftalato de polietileno	PET	02
8	1-25/01/21	Polietileno	PE	18
		Poliestireno	PS	05
		Polipropileno	PP	12
		Tereftalato de polietileno	PET	04
		Poliamida/Nylon	PA	14
		Cloruro de polivinilo	PVC	03
		Policarbonato	PC	02
		Poliéter Sulfona	PES	05
		Polietileno de alta densidad	HDPE	03
		Polietileno de baja densidad	LDPE	06
9	5-25/01/21	Polietileno	PE	05
		Polipropileno	PP	03
		Poliamida/Nylon	PA	01
		Tereftalato de polietileno	PET	02
		Poliéter Sulfona	PES	02
10	6-25/01/21	Polietileno	PE	07
		Polipropileno	PP	05
		Polimetilmetacrilato	PMMA	03
		Tereftalato de polietileno	PET	01
		Poliéter Sulfona	PES	04
11	1-01/02/21	Polietileno	PE	33
		Poliestireno	PS	02
		Polipropileno	PP	06
		Tereftalato de polietileno	PET	01
		Cloruro de polivinilo	PVC	04
		Poliamida/Nylon	PA	05
		Poliéter Sulfona	PES	04
		Polietileno de alta densidad	HDPE	02

Boulevard Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas Valdés Colonia República, Saltillo, CP25280, Coahuila, México.
Tels. 415-15-57-52 / 415-70-15 Fax 415-95-34

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

Nº	Código muestra	Identidad polimérica	Abreviación	Abundancia (Unidades)
12	5-01/02/21	Polietileno	PE	06
		Polipropileno	PP	09
		Poliamida/Nylon	PA	01
		Cloruro de polivinilo	PVC	01
		Poliéter Sulfona	PES	03
		Tereftalato de polietileno	PET	02
13	6-01/02/21	Polietileno	PE	08
		Polipropileno	PP	03
		Tereftalato de polietileno	PET	01
		Poliéter Sulfona	PES	02

4. VALIDEZ DEL INFORME DE ANÁLISIS

Los resultados de este informe técnico son válidos sólo para las muestras proporcionadas por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas en la misma.

M.C. Cynthia Luévano Martínez
Analista químico
LAI-UAdeC

Dr. Rubén García Braham
Jefe LAI
Responsable de Análisis
QFB46872-23

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

ANEXOS

Mapa químico/ imagen visual

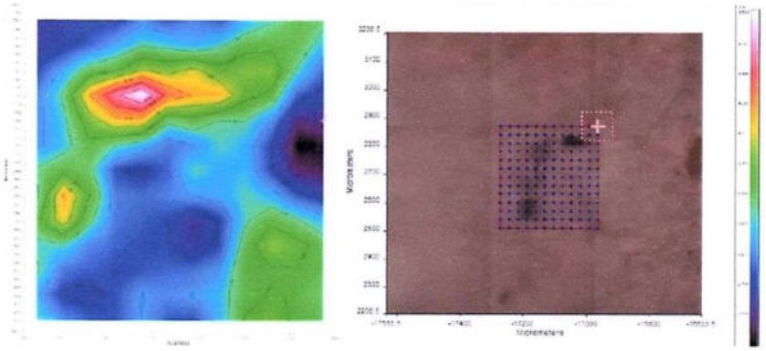


Figura 1. Mapeo superficial segmentado muestra "6-110121", derecha: imagen visual, izquierda: mapa químico.

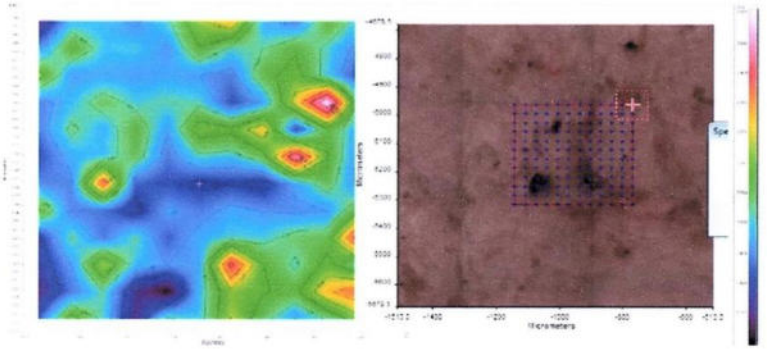


Figura 2. Mapeo superficial segmentado muestra "1-0102121", derecha: imagen visual, izquierda: mapa químico.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

Espectros FT-IR

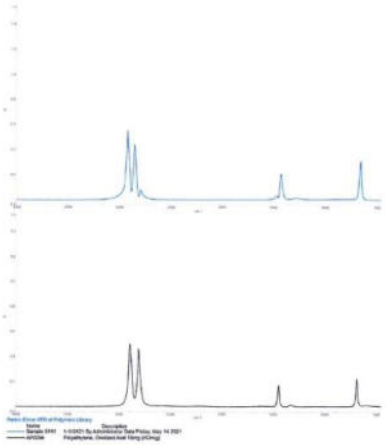


Figura 3. Espectro FT-IR de Polietileno (PE), superior: identificado, inferior: referencia.

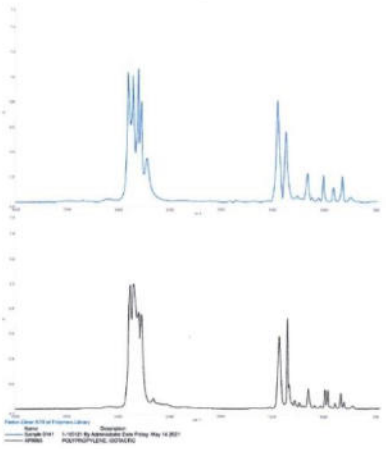


Figura 4. Espectro FT-IR de Polipropileno (PP), superior: identificado, inferior: referencia.

Boulevard Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas Valdés Colonia
República, Saltillo, CP25280, Coahuila, México.
Tels. 415-15-57-52 / 415-70-15 Fax 415-95-34

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

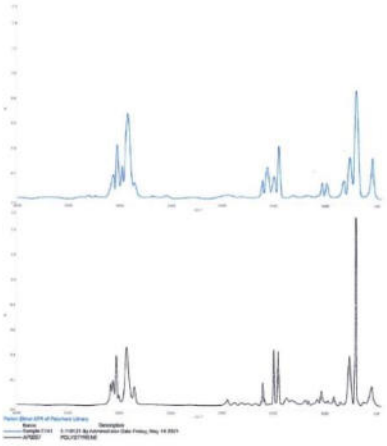


Figura 5. Espectro FT-IR de Poliestireno (PS), superior: identificado, inferior: referencia.

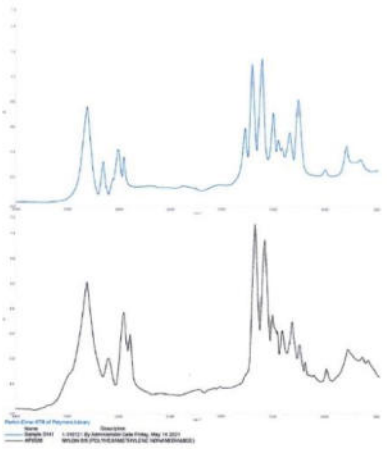


Figura 6. Espectro FT-IR de Poliamida/Nylon (PA), superior: identificado, inferior: referencia.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

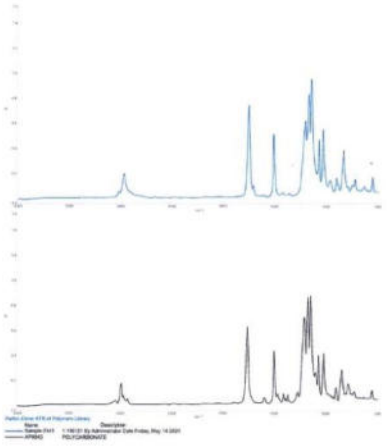


Figura 7. Espectro FT-IR de Policarbonato (PC), superior: identificado, inferior: referencia.

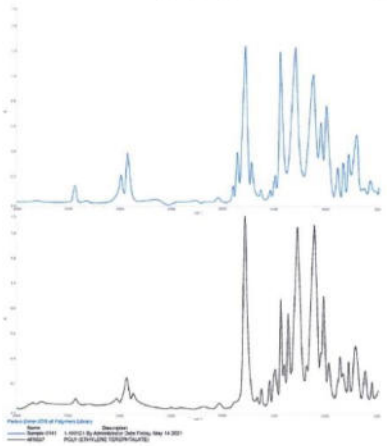


Figura 8. Espectro FT-IR de Tereftalato de polietileno (PET), superior: identificado, inferior: referencia.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

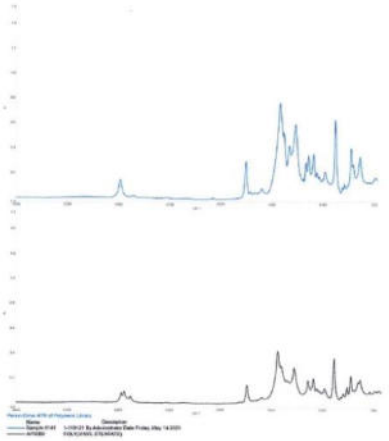


Figura 9. Espectro FT-IR de Policloruro de vinilo (PVC), superior: identificado, inferior: referencia.

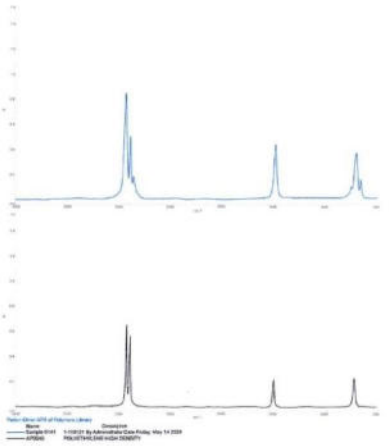


Figura 10. Espectro FT-IR de Polietileno de alta densidad (HDPE), superior: identificado, inferior: referencia.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

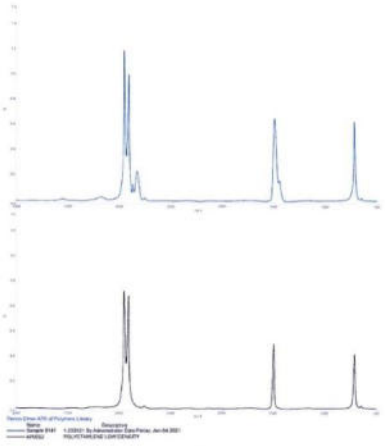


Figura 11. Espectro FT-IR de Polietileno de baja densidad (LDPE), superior: identificado, inferior: referencia.

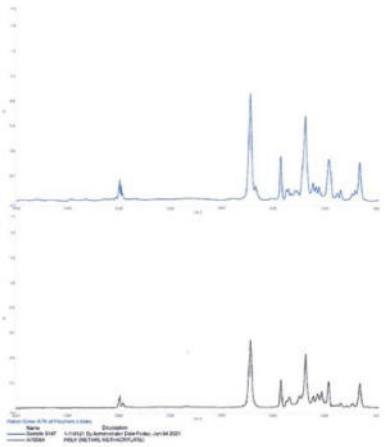


Figura 12. Espectro FT-IR de Polimetilmetacrilato (PMMA), superior: identificado, inferior: referencia.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

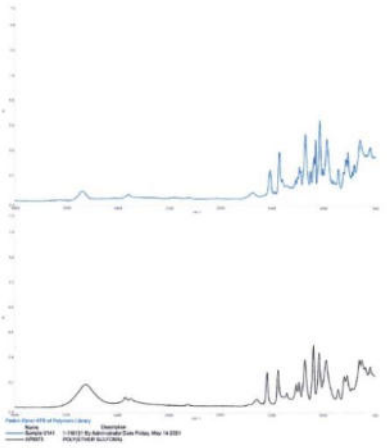
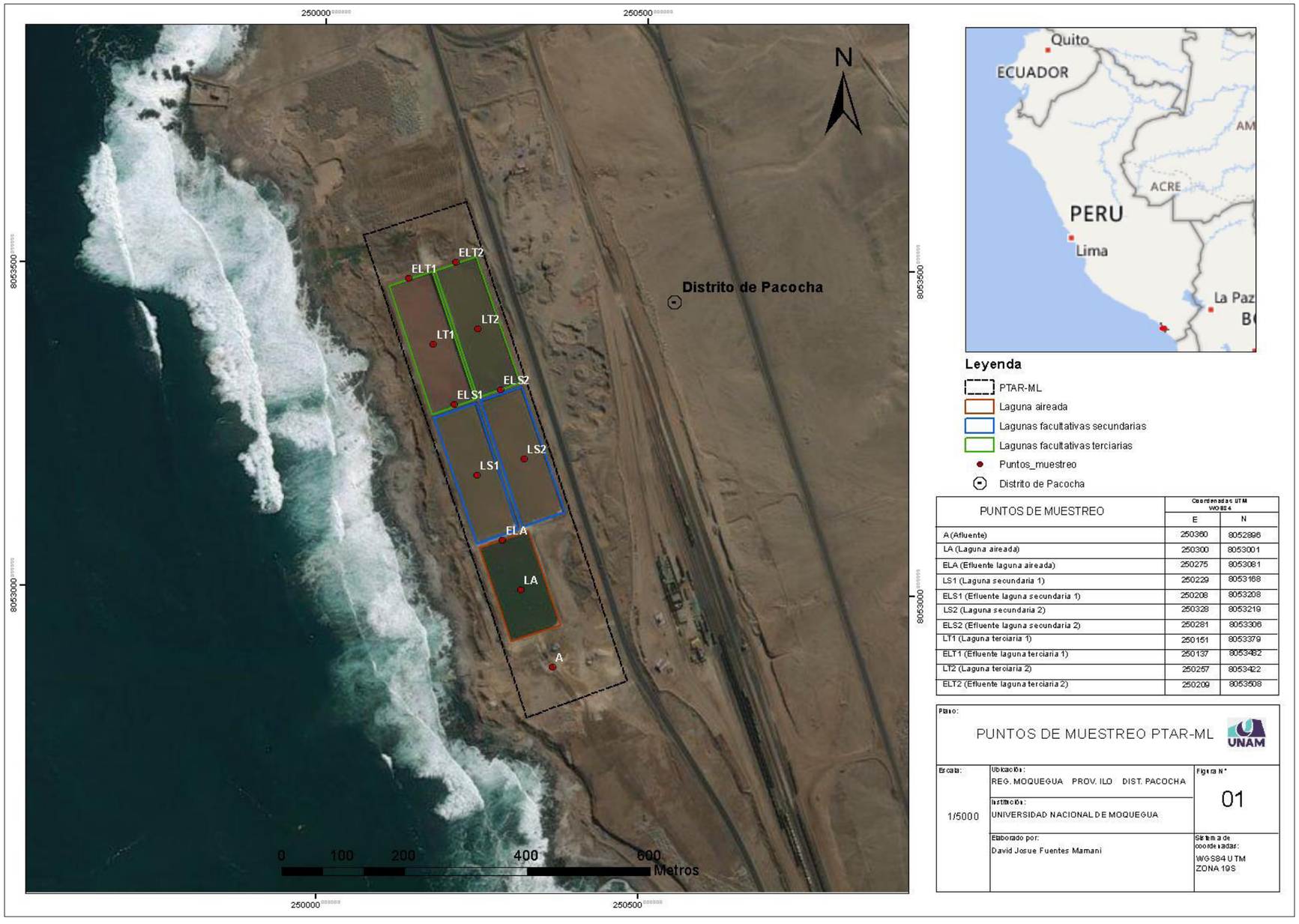


Figura 13. Espectro FT-IR de Polietersulfona (PES), superior: identificado, inferior: referencia.

Anexo 12. Mapa de ubicación de PTAR-ML Ilo y puntos de muestreo de agua residual

Figura 54

Mapa de ubicación puntos de muestreo – PTAR ML – Ilo



PUNTOS DE MUESTREO	Coordenadas UTM WGS84	
	E	N
A (Afluente)	250360	8052896
LA (Laguna aireada)	250300	8053001
ELA (Efluente laguna aireada)	250275	8053081
LS1 (Laguna secundaria 1)	250229	8053168
ELS1 (Efluente laguna secundaria 1)	250208	8053208
LS2 (Laguna secundaria 2)	250328	8053219
ELS2 (Efluente laguna secundaria 2)	250281	8053306
LT1 (Laguna terciaria 1)	250151	8053379
ELT1 (Efluente laguna terciaria 1)	250137	8053482
LT2 (Laguna terciaria 2)	250257	8053422
ELT2 (Efluente laguna terciaria 2)	250209	8053508

Fuente: Elaboración propia

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : DAVID JOSUE FUENTES MAMANI.....
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 42174918.....
Correo electrónico : davidfu7i7@gmail.com.....
Teléfono/Celular : 972834466.....

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (**X**)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis **(X)**
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE MICROPLASTICOS (MPs) EN EL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIA LUNA, PROVINCIA DE ILO - 2022 .....

b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : ..... 2.07.00 .....

c) Fecha de publicación : ..... 2022 .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : HEBERT HERNAN SOTO GONZALES.....
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01317360.....
c) ORCID : 0000-0002-9936-1943.....

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 42174918.....
NOMBRES Y APELLIDOS : DAVID JOSUE FUENTES MAMANI.....

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 42174918

NOMBRES Y APELLIDOS : DAVID JOSUE FUENTES MAMANI

FECHA : 30 - JUNIO - 2022

