

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS
LATERALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO RÍMAC

Tesis para optar el grado de Magister en Gestión de los Recursos Hídricos que
presenta

Raúl Huanaco Huamán

ASESORA:

Dra. Nadia Rosa Gamboa Fuentes

Lima, diciembre de 2019



Dedicatoria

Esta investigación va dedicada a Lureni Gisel Huanaco Huaranga. Fuiste mi luz, mi esperanza y soporte en mi vida. Tú nos hiciste sentir el amor más puro. Ahora serás mi Angelita que me guiará en mi camino. Siempre vivirás en mi corazón y mi mente.

Hasta siempre mi "*Princesa de Norte*", así te decíamos.

RESUMEN

Los microplásticos son partículas de menos de 5 mm de longitud presentes en los ecosistemas marinos y fluviales. Su presencia se relaciona con el mal manejo de los residuos de plásticos generados por las actividades productivas y por el consumo masivo. El objetivo de la presente investigación es determinar la presencia de microplásticos (MPs) en los sedimentos laterales en la cuenca baja del río Rímac, para lo cual se estableció una red de monitoreo de sedimentos en siete estaciones, ubicadas en los ríos Rímac, Santa Eulalia y la quebrada Huaycoloro en noviembre del 2017 (avenida), y en agosto del 2018 (estiaje). Asimismo, se implementó una metodología para el análisis e identificación de microplásticos, que consistió en oxidación de materia orgánica y su separación por densidad e identificación. De igual manera, se realizaron entrevistas a la población asentada en los alrededores de las zonas de muestreo para conocer las actividades que realizan para la gestión de sus residuos y su opinión sobre el problema que representan los microplásticos.

Se han identificado 538,9 MPs/m² en noviembre de 2017, y 16 566,7 MPs/m² en agosto de 2018 en las siete estaciones de monitoreo de la cuenca baja del río Rímac. Los microplásticos identificados corresponden a poliestireno, polipropileno y polietileno tereftalato. La forma predominante de microplásticos es fragmento, filamento y película. Asimismo, 90,4% de los entrevistados no conoce sobre los microplásticos lo que muestra la necesidad de un plan de educación ambiental y sensibilización con este contaminante.

Las principales fuentes identificadas que generan los microplásticos son los residuos presentes en el cauce del río y las aguas superficiales; los efluentes industriales y domésticos también son fuentes importantes. Por ello, urge tomar acciones correctivas para revertir esta situación y así prevenir la acumulación de microplásticos en los sedimentos del río Rímac y, eventualmente, lleguen al océano Pacífico. Las acciones que sean consideradas deberán estar enmarcadas en la normativa actual vigente y deben ser concordantes con las dimensiones de la gestión integrada de los recursos hídricos. Asimismo, deben corresponder al cumplimiento de los objetivos 11 y 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Finalmente, la metodología implementada podrá utilizarse en el diagnóstico de la presencia de microplásticos en los ríos, lagos y lagunas del Perú.

ABSTRACT

Microplastics are particles less than 5 mm length, present in marine and river ecosystems. Its presence is related to mismanagement of plastic wastes generated by productive activities and mass consumption. The main goal of the present research is to determine the presence of microplastics (MPs) in lateral sediments in lower Rímac river basin, reason why a sediment monitoring network with seven sampling sites was established in Rímac and Santa Eulalia rivers and Huaycoloro ephemeral mountain stream in November 2017 (floods), and in August 2018 (droughts). Likewise, a methodology for identification and analysis of microplastics was implemented, consisting in oxidation of organic matter and separation and identification by density. Similarly, people neighboring sampling areas were interviewed to learn about their waste management activities and their own opinion about the problem that microplastics represent.

538,9 MPs/m² have been identified in November 2017, and 16,566.7 MPs/m² in August 2018 at the seven monitoring sites in the lower Rímac river basin. Microplastics identified are polystyrene, polypropylene and polyethylene terephthalate. The predominant form of microplastics is fragments, filaments and films. Likewise, 90.4% of persons interviewed do not know about microplastics, which show urgent need for environmental education and awareness plan about this pollutant.

The main sources identified for microplastics are residues present in the riverbed and surface waters; industrial and domestic effluents are also important sources. Therefore, it is important to take corrective actions in order to reverse this situation and, thus, prevent microplastics accumulation in the sediments of Rímac river and, eventually, reach the Pacific Ocean. The actions to be considered must be framed in the current regulations in force and must be in accordance with dimensions of integrated water resources management. They must also correspond to the fulfillment of objectives 11th and 12th of Sustainable Development Goals.

Finally, the methodology implemented can be used in the diagnosis of the presence of microplastics in rivers, lakes and lagoons in Peru.

PISI QILLQA

“Microplásticos” nisqankunaqa uchuy 5 mm nisqan sayaykunan, chaymi rikukun tukuy yaku kasqampi (mayupi, quchakunapi). Chaykunaqa rikurimun mana allinmanta, achka rurakuna, chaynallaq empresakuna, plastikukuna puchukuna wischusanmanta. Kay investigación nisqan yachaymi maskarikamunqa, imaynam qawarikuchkan chay microplastikukuna Rimac mayu tukuqnin wayqukunapi; chaypaqmi qispichirqanchik “red de monitoreo de sedimentos” nisqanta, qanchis wichaykunapi, Rimac, Santa Eulalia, chaynallataq quebrada Huaycolo mayukunapi, 2017 noviembripi (“avenida” pachapi), chaymanta 2018 agustupi (“estiaje” pachapi). Chaynallataqmi paqarichimurganchik “metodología para el análisis e identificación de microplásticos” nisqanta, chaypim “materia orgánica” nisqanta oxidachimurganchik, chaymanta densidadwan, identificación nisqanwan rakichimunanchikpaq. Chaynapas runa mayu chimpan yachaqkunata tapukurqaniku, imaynatataq puchunkunawan ruranku, chaymanta microplastiku sasachaykuymanta hamutaynin yachayninkunamanta.

Tarimurqanikum 538,9 MPs/m² nisqanta 2017 noviembripi, chaynallataq 16 566,7 MPs/m² nisqanta 2018 agustupi qanchis estación de monitориukunapi Rimac mayu uray wayqunpi. Microplastikukina tarimusqaykuqa kanku poliestireno, polipropileno chaymanta polietilen tereftalato nisqankunamanta. Llapanmanta microplastikukuna masyaqkunaqa kaska fragmento, filamento chaymanta película nisqankuna. Chaynallataq 90,4% nisqan runakuna tapukusqaykuqa, manan riqsinkuchu microplantikukunamanta, chaynakaptinmi sinchita paqarimunan huk “plan de educación ambiental y sensibilización” nisqan, rurakuna anchata microplastikukunamanta yachanankupaq.

Microplastikukunaqa mayupi plastikukuna puchukunamantam rikurimuqkasa, industriakuna utaq runakuna wischusankunamantam. Chaynakaptinmi utqayllamanta wanachiknanchik kay ñakariyta, amaña chay microplastikukuna Rimac mayupi quñurikunampaq, chaymannta ama hatun quchaman chayanampaq. Tukuy chay ruraykunam ley kamachiykunawan tupanasqa kanman, chaynallataq “dimensiones de la gestión integrada de los recursos hídricos” nisqankunawanpas. Chaynallataqmi kamachisqa kanam “objetivos 11 y 12” tukukuykuna paytay “Objetivos de Desarrollo Sostenible” nisqankunawan.

Tukupaykunapaq, imayna kay investigación maskaypaq “metodología” qispichisaykum, allinchakunam kay “diagnóstico de la presencia de microplásticos” nisqampaq, wayqukunapi, mayukunapi, quchakunapi, tukuy Perú sunyunchikpi, chay microplastikukuna tarinanchikpaq.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento de problema.....	1
1.2. Pregunta de investigación	6
1.3. Hipótesis	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
2. GESTIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN RECURSOS HÍDRICOS	8
2.1. Microplásticos en ecosistemas de agua dulce	9
2.2. Origen de los microplásticos.....	15
2.3. Efectos de los microplásticos en el ambiente	16
2.4. Aspectos legales relativos a los microplásticos	16
3. MICROPLÁSTICOS	19
3.1. ¿Que son microplásticos?	19
3.2. Microplásticos, plásticos y residuos de plásticos	19
3.2.1. Tipos de plásticos	21
3.2.1.1. Polipropileno (PP).....	22
3.2.1.2. Tereftalato de polietileno (PET)	23
3.2.1.3. Poliestireno (PS).....	23
3.2.1.4. Policloruro de vinilo (PVC)	24
3.2.2. Residuos de plásticos.....	24
3.3. Muestreo y análisis de microplásticos.....	27
4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	31
4.1. Ubicación	31
4.2. Clima	32
4.3. Población	33
4.4. Uso de agua y actividades principales de la población	34
4.5. Contaminantes del río Rímac	36
5. METODOLOGÍA	38
5.1. Selección de estaciones de muestreo	38
5.1.1. Estación RM-1 Huayaringa Centro	39
5.1.2. Estación RM-2 Julio C. Tello.....	40

5.1.3. Estación RM-3 puente Los Ángeles	41
5.1.4. Estación RM-4 puente Los FONCODES.....	41
5.1.5. Estación RM-5 puente Huaycoloro	42
5.1.6. Estación RM-6 antes de la bocatoma de La Atarjea	42
5.1.7. Estación RM-7 puente la Libertad.....	43
5.2. Muestreo de microplásticos	43
5.3. Materiales, equipos y reactivos químicos	45
5.3.1. Materiales.....	45
5.3.2. Equipos	45
5.3.3. Reactivos químicos.....	46
5.3.4. Preparación de soluciones químicas	46
5.4. Análisis de muestras	47
5.4.1. Preparación de muestras.....	47
5.4.2. Separación por densidad.....	47
5.4.3. Determinación de la masa total de la muestra	47
5.4.4. Oxidación con peróxido de hidrógeno.....	47
5.4.5. Separación por densidad y recuperación de microplásticos.....	48
5.4.6.1. Separación por densidad	48
5.4.6.2. Recuperación de <i>microplásticos</i>	48
5.4.6. Identificación preliminar de microplásticos.....	49
5.5. Obtención de microplásticos a partir de muestras comerciales	49
5.6. Análisis de componente social	49
5.7. Entrevista exploratoria.....	53
5.7.1. Primera fase	53
5.7.2. Segunda fase	56
5.7.3. Tercera fase	56
6. RESULTADOS	58
6.1. Número de microplásticos	58
6.2. Formas, tamaño y color de microplásticos.....	62
6.2.1. Formas de microplásticos.....	62
6.2.2. Tamaño de microplásticos	62
6.2.3. Color de microplásticos	67
6.3. Identificación de polímeros presentes en microplásticos	68
6.4. Resultados de la entrevista exploratoria.....	74
6.5. Identificación de fuentes de microplásticos.....	77
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82

7.1. Sobre la metodología empleada.....	82
7.2. Presencia de microplásticos en sedimentos laterales.....	82
7.3. Percepción de la población.....	86
7.3.1. Sobre las fuentes de microplásticos	86
7.3.2. Análisis de componente social.....	87
7.4. Propuesta de políticas ambientales para prevenir y mitigar la generación de microplásticos en los ecosistemas acuáticos.....	88
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
8.1. Conclusiones.....	90
8.2. Recomendaciones.....	91
9. BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXO.....	99



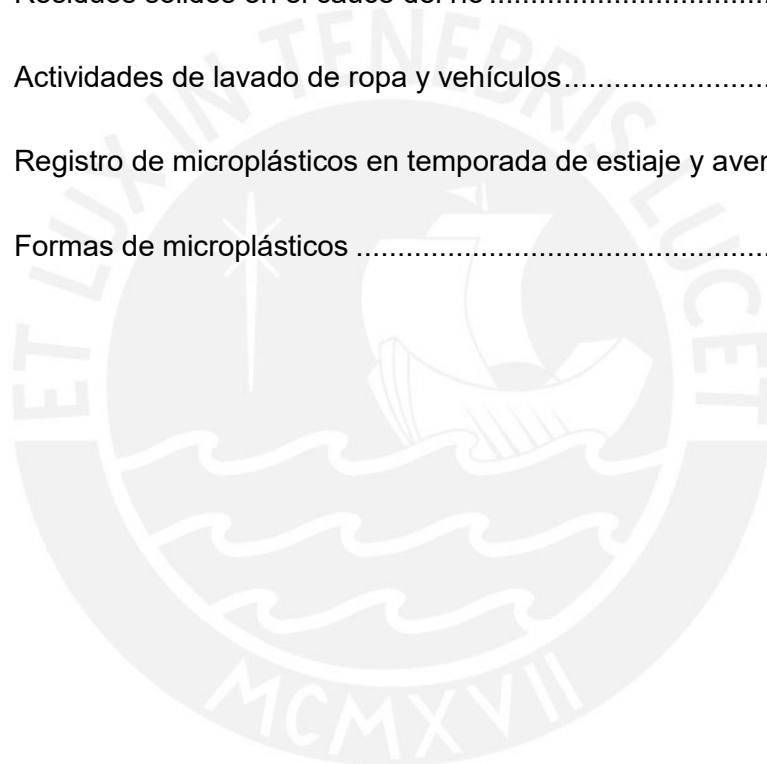
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Producción de plásticos por continente.....	20
Figura 2.	Códigos de identificación para algunos termoplásticos	22
Figura 3.	Estructura de polipropileno.....	23
Figura 4.	Estructura de tereftalato de polietileno	23
Figura 5.	Estructura de poliestireno.....	24
Figura 6.	Estructura de policloruro de vinilo	24
Figura 7.	Residuos generados según los ingresos en los países	25
Figura 8.	Producción de residuos urbanos por región en megatoneladas por año	25
Figura 9.	Tipos de residuos urbanos.....	26
Figura 10.	Composición de residuos urbanos en Perú.....	27
Figura 11.	Esquema de análisis de microplásticos en sedimento.....	30
Figura 12.	Ubicación de los ríos Santa Eulalia y Rímac	31
Figura 13.	Caudal histórico en la estación Chosica.....	33
Figura 14.	Distritos aledaños al río Rímac bajo.....	34
Figura 15.	Actividades de minería e hidroeléctricas en la cuenca	35
Figura 16.	Ubicación de las estaciones de monitoreo	39
Figura 17.	Estación RM-1 Huayaringa Centro.....	40
Figura 18.	Estación RM-2 Julio C. Tello	40
Figura 19.	Estación RM-3 puente Los Ángeles	41
Figura 20.	Estación RM-4 puente Los FONCODES	41

Figura 21.	Estación RM-5 puente Huaycoloro	42
Figura 22.	Estación RM-6 antes de la bocatoma de La Atarjea.....	42
Figura 23.	Estación RM-7 puente la Libertad	43
Figura 24.	Sección de zona de muestreo. Elaboración propia.....	43
Figura 25.	Distribución en zona de muestreo	44
Figura 26.	Caja contenedora de muestras con separadores de cartón	44
Figura 27.	Separación por densidad	48
Figura 28.	Recuperación de MPs por filtración con bomba de vacío.....	49
Figura 29.	Pautas consideradas para la entrevista semiestructurada.....	51
Figura 30.	Fases de la entrevista	52
Figura 31.	Zonas donde se aplicó la encuesta	54
Figura 32.	Registro de número de microplásticos en las estaciones de monitoreo durante noviembre de 2017 y agosto de 2018	61
Figura 33.	Forma de microplásticos. En la imagen A se muestra los resultados a la época de avenida (noviembre 2017) y la imagen B muestra los resultados de la época de estiaje (agosto 2018)	62
Figura 34.	Tamaño de microplásticos. En la imagen A se muestra la cantidad de MP de acuerdo al tamaño que corresponde a noviembre de 2017 y la imagen B que corresponde a agosto 2018	63
Figura 35.	Registros fotografías de MP, 0,15 a 0,7 mm – época de avenida (noviembre 2017).....	64

Figura 36.	Registros fotografías MP, 1 mm a 2 mm - época de avenida (noviembre 2017)	65
Figura 37.	Registros fotografías MP, 2.7 mm a 4.5 mm - época de avenida (noviembre 2017)	65
Figura 38.	Registros fotografías de MP- 0,07 a 0,1 mm - época de estiaje (agosto 2018)	66
Figura 39.	Registros fotografías MP, 0,2 mm a 0,5 mm - época de estiaje (agosto 2018)	66
Figura 40.	Registros fotografías MP, 1,46 mm a 2,0 mm - época de estiaje (agosto 2018)	67
Figura 41.	Registros fotografías MP, 2,5 mm a 4,1 mm - época de estiaje (agosto 2018)	67
Figura 42.	Color de los microplásticos. En la imagen A se muestra el porcentaje de los colores de MPs que corresponde a noviembre y la imagen B que corresponde a agosto 2018	68
Figura 43.	Espectros de referencia de polímeros de interés	69
Figura 44.	Polímeros identificados en ambas campañas. En la imagen A se muestra polímeros identificados a época de avenida y en la imagen B corresponde a polímeros identificados a la época de estiaje.	71
Figura 45.	Espectros FTIR de los polímeros identificados	72
Figura 46.	Espectros FTIR de PMMA	73
Figura 47.	Espectros FTIR de LDPE	73

Figura 48.	Respuestas a las preguntas 11, 12.	74
Figura 49.	Descarga efluentes domésticos, estación RM-2.....	78
Figura 50.	Descarga efluentes domésticos, estación RM-3.....	78
Figura 51.	Descarga de efluentes al cauce del río	79
Figura 52.	Descarga de efluentes al cauce del río	79
Figura 53.	Residuos sólidos en el cauce del río	80
Figura 54.	Residuos sólidos en el cauce del río	80
Figura 55.	Actividades de lavado de ropa y vehículos.....	81
Figura 56.	Registro de microplásticos en temporada de estiaje y avenida	83
Figura 57.	Formas de microplásticos	85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Objetivos y metas del desarrollo sostenible relacionados con la reducción de la contaminación por microplásticos.	8
Tabla 2.	Estudios sobre microplásticos en agua dulce con reporte cronológico.....	13
Tabla 3.	Producción mundial de termoplásticos y termoestables para el año 2016	20
Tabla 4.	Materia prima importada en el año 2018 para la producción de plásticos .	21
Tabla 5.	Estaciones de monitoreo.	38
Tabla 6.	Equipos utilizados.....	46
Tabla 7.	Reactivos químicos empleados	46
Tabla 8.	Cuestionario de la entrevista para medir la percepción de la población	55
Tabla 9.	Tamaño de la muestra poblacional entrevistable	56
Tabla 10.	Población entrevistada y perfil del entrevistado	57
Tabla 11.	Número de microplásticos identificados según su apariencia en las estaciones de monitoreo.....	59
Tabla 12.	Tamaño de microplásticos	63
Tabla 13.	Máximos, mínimo y promedio de microplásticos	63
Tabla 14.	Color de microplásticos	68
Tabla 15.	Polímeros identificados en la época de avenida - noviembre 2017 y estiaje – agosto 2018	70
Tabla 16.	Resultado de la pregunta 2.....	74
Tabla 17.	Resultado de la pregunta 3.....	75
Tabla 18.	Resultado de la pregunta 4.....	75
Tabla 19.	Resultado de la pregunta 5.....	75
Tabla 20.	Resultado de la pregunta 6.....	76

Tabla 21. Resultado de la pregunta 7.....	76
Tabla 22. Resultado de la pregunta 8.....	77
Tabla 23. Resultado de la pregunta 9.....	77
Tabla 24. Resultado de la pregunta 10.....	77
Tabla 25. Número total de MPs normalizados de época de avenida (noviembre de 2017) y época estiaje (agosto 2018).....	84
Tabla 26. Comparación de reporte de polímeros analizados en diferentes estudios en sedimentos.	86
Tabla 27. Tamaño de muestras para entrevista	87



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Nadia Rosa Gamboa Fuentes, por su constante apoyo, por las recomendaciones y orientaciones en el desarrollo de la tesis.

A Rubén Eduardo Manrique Muñante, por su apoyo incondicional y consejos durante el desarrollo de la tesis.

A Valeria Isabel Zúñiga Soto, por su amistad incondicional y su apoyo en la edición de la tesis.

A GRIDES, por la información brindada para los fundamentos de la investigación y el acceso al Laboratorio de Química Ambiental de la Sección Química.

A la Maestría Gestión de Recursos Hídricos, por el apoyo económico para reactivos de laboratorio y los conocimientos brindados para el manejo integral de los recursos hídricos.

A mi esposa Clorinda, por su apoyo y comprensión incondicional durante esta etapa de mi vida profesional y mis tres amores Lureni, Keira y Melia.

A Manuel Huaranga, por su apoyo, sus consejos, el ejemplo de valentía y lucha constante frente a las adversidades.

A mis padres, Irene y Vicente, por su apoyo constante, aunque estén lejos.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

MPs	microplásticos
PP	polipropileno
PET	polietileno tereftalato
PVC	policloruro de vinilo
PS	poliestireno
LDPE	polietileno de baja densidad
HDPE	polietileno de alta densidad
PMMA	polimetilmetacrilato
Mt	megatoneladas
GIRH	gestión integrada de los recursos hídricos
ANA	Autoridad Nacional del Agua
Hab	habitantes
PCB	bifenilos policlorados
t	toneladas
m s.n.m	metros sobre el nivel del mar
FT-IR	espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier
A.H.	asentamiento humano

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento de problema

El crecimiento poblacional y económico mundial ha tenido consecuencias en la demanda de recursos naturales, servicios y productos para la satisfacción de las necesidades básicas y secundarias de la población. Ante ese escenario, las industrias han buscado alternativas para sustituir el uso de recursos naturales como el caucho, lana o celulosa. Por esta razón, en los años 1940s se lanza al mercado el plástico como una alternativa de múltiples usos (Areizaga et al., 2002). Las predicciones sobre las aplicaciones y los beneficios del plástico fueron recibidas con mucho optimismo debido a su durabilidad y su alto potencial comercial. Sin embargo, los enormes impactos ambientales de los desechos del plástico no estaban pronosticados (Christoph, Muñoz, Hernández & Ventura, 2016).

Los contaminantes que destacan por su presencia y abundancia en las aguas superficiales continentales y marinas son los plásticos y sus derivados. Los residuos plásticos son productos de la mala gestión de residuos sólidos en las principales ciudades y son constantemente enterrados, quemados o arrojados en los botaderos informales, usualmente en los cauces de ríos (Durand, 2012). Asimismo, la gestión de los residuos sólidos es muy distinta en las diferentes regiones de una ciudad (Wagner & Lambert, 2018).

Los desechos plásticos se encuentran en una muy amplia gama de tamaños en el ambiente. Los primeros informes sobre pequeñas partículas y fragmentos de plásticos en el océano, especialmente poliestireno, datan de la década de 1970, aunque el término “microplástico” (MP) se introdujo recién en junio de 2000. Hoy en día, dicho término se utiliza ampliamente para describir partículas de plástico con un límite inferior de tamaño de 5 mm (Horton et al., 2017).

La presencia de los MPs en los ecosistemas marinos y aguas dulces tiene dos vías de ingreso, las fuentes primarias y las fuentes secundarias. Las fuentes primarias están referidas a partículas nuevas usadas en diferentes industrias, es decir, las partículas de polietileno, polipropileno y poliestireno contenidas en los productos de limpieza y cosméticos, por ejemplo, ingresan al sistema acuático a través de la descarga de efluentes domésticos (Eerkes-Medrano, Thompson & Aldridge, 2015). Las materias

primas (pastillas, escamas y pellets¹) utilizadas para fabricar productos plásticos son consideradas fuentes primarias (Lechner et al., 2014). La descomposición y fragmentación de plásticos mayores es una fuente secundaria (Cole, Lindeque, Halsband & Galloway, 2011). Las fuentes secundarias están asociadas, por ejemplo, a las fibras de lavado de ropa hechas principalmente de poliéster, poliacrilato y poliamida, y pueden verter más de 100 fibras por litro de efluente (Eerkes-Medrano et al., 2015).

La vía directa puede ser la fuga industrial de gránulos de resina virgen y polvo de reciclado, los productos abrasivos utilizados en la limpieza del hogar y de barcos mercantes y aviones o artículos de aseo exfoliantes, y la vía indirecta como resultado de la fragmentación física, química y biológica de los plásticos. Los MPs llegan a las columnas de agua, luego pasan a los sedimentos laterales y, finalmente, a los sedimentos del fondo. Este proceso ocurre debido a las corrientes y turbulencias de las aguas. La relación de los MPs en las columnas de agua con los sedimentos es favorecida por la densidad de los MPs (Cole et al., 2011). Su permanencia está determinada por su tamaño y densidad en la columna de agua (Browne, Galloway & Thompson, 2010). Es decir, los MPs de mayor densidad permanecerán en la columna de agua.

Las características de los MPs, tales como el tamaño, la densidad o el color, son importantes para estudiar su efecto sobre el ambiente. El tamaño de los MPs es fundamental en su efecto tóxico sobre los distintos organismos. Según la bibliografía revisada se ha demostrado que un tamaño pequeño de los MPs favorece la ingesta por fitoplancton, zooplancton, organismos bentónicos y filtradores, como mejillones o ballenas. La densidad influye en el traslado y deposición de los mismos. El color de los MPs va a influir de manera significativa en las probabilidades de ingestión por parte de los organismos. Existen algunas especies de peces de importancia económica, que son depredadores visuales: confunden las presas con MP de color amarillo, beige y blanco. (Martínez, 2014).

Existen algunos estudios sobre los MPs y sus efectos en ambiente marino a nivel mundial; por ejemplo, en Portugal se realizó el proyecto “Microplásticos como Vector de Contaminación por Metales Pesados en el Ambiente Marino”, donde se estudió la interacción entre los MPs y los metales pesados porque los lixiviados de los metales, como cobre y zinc, procedentes de pinturas antiincrustantes, se adhieren a la superficie

¹ Son pequeños gránulos generalmente con forma de cilindro o disco con un diámetro de unos pocos mm.

de los MPs (Brennecke et al., 2016). En España, con el estudio “Análisis y Caracterización de Microplásticos Presentes en Limpiadores Faciales y su Impacto sobre el Medio Ambiente”, se estudió la toxicidad y la biodisponibilidad en medios marinos, en especial, al inicio de la cadena trófica (Martínez, 2014). En Austria, se analizó la presencia de MPs en las heces humanas donde se registró 20 partículas por cada 20 gramos de heces. Detectaron partículas de polietileno de tereftalato y polipropileno y señalan que esto podría afectar la salud humana comenzando por el tracto gastrointestinal, la respuesta inmune del intestino a través de las acumulaciones de las mismas o transmitiendo las toxinas que contienen los MPs. (Kummer, 2018) En Francia, se analizó la presencia de MPs en agua dulce en el estudio “Más Allá del Océano: La Contaminación de los Ecosistemas de Agua Dulce con Partículas de (Micro) Plástico”, donde se clasificaron los posibles impactos en: obstrucción mecánica, disruptores endocrinos, capacidad de adsorber contaminantes orgánicos tóxicos (Dris et al., 2015). En Italia, durante el estudio en la costa norte del lago de Garda se registró $1,108 \pm 983$ MP/m². En el muestreo en la costa sur se reportó 108 ± 55 MP/m², y se precisó que la alta concentración de MP en el norte puede ser por la fuerza del viento que sopla de sur a norte (Imhof et al., 2013).

En Canadá, se estudió la presencia de los MPs en el río San Lorenzo donde se determinó MPs (microperlas) en 8 puntos de 10. Las concentraciones van de 52 a 13 759MP/m². Los peces bentónicos que se alimentan de los detritos y de las partículas en suspensión tienen mayor probabilidad de ingesta de MPs.(Castañeda et al, 2014) Asimismo, se han detectado MPs en las aguas superficiales de los Grandes Lagos Laurentianos. La abundancia encontrada va de 0 a 43 000 partículas/km² con una densidad media de $43\,157 \pm 115\,519$ partículas/km² en las áreas metropolitanas que pueden representar importantes fuentes (Eriksen et al., 2013). En las costas del lago Huron (Canadá) se registró un total de 3209 piezas de plástico, que incluye 108 fragmentos y 117 piezas de espuma de poliestireno, sobre una superficie de sólo 85 m²; en la playa de Sarnia se obtuvieron 2818 partículas con una densidad de 408 partículas/m². En el mismo estudio se reportan 32 partículas de polietileno, 12 partículas de polipropileno y 1 de partícula tereftalato de polipropileno. (Zbyszewski & Corcoran, 2011)

En el Golfo de México se han examinado 535 peces; 8% de peces de agua dulce y 10% de aguas marinas tenían MPs en su tracto intestinal (Phillips & Bonner, 2015). En esta investigación, los MPs ingeridos y las sustancias que estos transportan podrían ser trasladados a las células por mecanismo de fagocitosis (Syberg et al., 2015). En Chile,

se han realizado estudios en la costa de Isla de Pascua donde caracterizaron los MPs presentes en las playas (Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013). Según el estudio, la presencia de MPs proviene de centros urbanos y sus actividades productivas.

En Perú se ha realizado un estudio sobre la presencia de MPs en cuatro playas arenosas: playa Vesique, playa Albúfera de Medio Mundo, playa Costa Azul y playa El Chaco. Se encontraron 463,33 ítems/m² en la playa Costa Azul y en la playa El Chaco 11,33 ítems/m² (Purca & Henostroza, 2017). Según los autores, las posibles fuentes de los MPs podrían estar asociadas a los residuos urbanos, actividades de la pesca y la descarga de efluentes domésticos. En un reciente estudio denominado “Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú” se encontraron 18 MPs en una estación de muestreo ubicada al lado derecho de la desembocadura del río Jequetepeque (Manrique, 2019).

El constante crecimiento de consumo de plásticos a nivel mundial es preocupante. La producción mundial de plásticos fue 280 millones de toneladas para el año 2016, de los cuales 11 millones 200 mil toneladas fueron en América Latina, lo que representa 4% de la producción (PlasticsEurope, 2017). En Perú, se importaron 954 305 mil toneladas de materia prima - polietileno, polipropileno, polietileno tereftalato, policloruro de vinilo y poliestireno - para fabricación de plásticos en el año 2018 (Nishi, 2018).

Todos los productos que se consumen a diario están envueltos en plásticos y no todos los plásticos usados tienen una disposición final adecuada. Según Hoornweg, en América Latina y Caribe se han generado 19 millones 200 mil toneladas de residuos de plásticos en el año 2012 (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). Los plásticos no tratados tienen diferentes destinos finales: suelos, lagos, lagunas, mares, océanos y ríos. En base a los estudios revisados, se puede afirmar que la mala gestión de los residuos es una de las fuentes importantes de los MPs en los cuerpos de agua y sedimentos de las aguas superficiales. Sin embargo, hasta el momento no hay muchos estudios sobre las interacciones de MP en el ambiente; algunos estudios han determinado algunos efectos en el ecosistema como: ingesta por diferentes taxones de organismos marinos (zooplankton y fitoplancton), ingesta de MP por algunos peces bentónicos y contaminación de aguas superficiales para consumo humano y que, en la mayoría de casos, su eliminación a través de técnicas avanzadas de oxidación y filtración son muy costosas (Martínez, 2014). Asimismo, los ríos son los medios de transporte de MP hacia al mar y océano. Por lo tanto, a nivel mundial, la preocupación sobre la presencia de MP en aguas marinas y aguas dulces es creciente, debido a los impactos negativos en los

ecosistemas, es decir, la ingesta de microplásticos por los peces y zooplancton. La interacción de zooplancton con los MPs fue corroborada en laboratorio, lo cual es una señal de advertencia por ser el inicio de la cadena alimenticia en los ecosistemas acuáticos. Además, los MPs, al ser ingeridos, pueden actuar como medio para concentrar y transferir las sustancias químicas tóxicas persistentes y bioacumulativas (bifenilos policlorados, polibutileno tereftalato y plaguicidas organoclorados, todas sustancias contempladas en el Convenio de Estocolmo) y los metales pesados. Otro punto a considerar son las fuentes de MP y los sistemas de agua dulce como medios de transporte de MP hacia los ecosistemas marinos.

Hasta el momento, hay pocos estudios sobre la presencia de MPs en ríos, lagos o lagunas en el Perú. Sin embargo, Manrique ha encontrado 18 MPs de tamaño 500 μm a 1 mm en la desembocadura del río Jequetepque (Manrique, 2019). Para el río Rímac, el más importante recurso para las diferentes actividades como: industrias, agricultura, abastecimiento de agua potable y otras actividades, no se ha encontrado algún estudio sobre los MPs en la literatura científica publicada. De acuerdo a los estudios revisados, la presencia de MPs en ecosistemas acuáticos puede tener un impacto negativo emergente en la biota de agua dulce, en la población que consume las especies marinas, y los peces pueden actuar como vectores de sustancias químicas persistentes. Por consiguiente, la falta de conocimiento sobre MPs podría causar grandes impactos negativos sobre el ecosistema acuático y la salud de la población. Bajo este escenario, las aguas superficiales y los sedimentos (laterales y del fondo) del río Rímac estarían siendo invadidos por los MPs. La presencia de MP podría ser por descomposición y fragmentación de plásticos mayores presentes en el cauce del río Rímac por las malas prácticas de gestión de residuos urbanos e industriales. Se evidencia la presencia los residuos sólidos en los ríos, lagos y mares por el inadecuado manejo de los residuos sólidos (Ruíz et al., 2009).

Por lo tanto, es importante determinar la presencia de MPs en los sedimentos laterales ² del río Rímac, con la finalidad de cuantificar los MPs y conocer la situación real de contaminación del río con MPs que luego son transportados al mar peruano. En esta tesis se busca determinar, cuantificar y caracterizar el tipo de MPs en sedimentos laterales de este río y estudiar la relación de las actividades de la población con la presencia de estos contaminantes. De esta manera, se contribuye con nueva información y argumentación para abrir la discusión sobre una futura incorporación de

² “Sedimentos laterales” hace referencia a las muestras tomadas en las orillas del río y quebrada de la zona de estudio.

su control en la política ambiental nacional y contribuir con la concientización sobre MPs en la población asentada en los valles del río Rímac y a nivel nacional.

1.2. Pregunta de investigación

¿El uso indiscriminado de plásticos en las diferentes actividades humanas, la generación descontrolada de los residuos derivados de estos materiales, falta de responsabilidad ambiental en el manejo residuos, poca sensibilización en la importancia del recurso agua y la débil intervención de los órganos de control ambiental conllevan a la mala gestión de residuos sólidos lo que afecta la cuenca baja del río Rímac en niveles peligrosos para la salud de ecosistema y de las personas?

1.3. Hipótesis

La presencia de los microplásticos en los sedimentos laterales es una demostración de la mala gestión de los residuos derivados de estos materiales en cuenca baja del río Rímac.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar si la presencia de los microplásticos en los sedimentos laterales en la cuenca baja del río Rímac proveniente de uso plásticos de las diferentes actividades humanas y los residuos derivados de estos materiales alcanza niveles que prueben que son una amenaza ambiental

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar una red de monitoreo para la evaluación de microplásticos en la cuenca baja del río Rímac.
- Determinar la concentración e identificar de microplásticos en época de estiaje y avenida.
- Determinar el origen de las fuentes de aporte de microplásticos hacia el río Rímac.
- Implementar la metodología para determinación de microplásticos en sedimentos laterales.
- Conocer la percepción de la población asentada circundante al río Rímac sobre los microplásticos.

- Proponer medidas sobre microplásticos para su inclusión en las políticas ambientales en la gestión del agua.



2. GESTIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN RECURSOS HÍDRICOS

La gestión de los recursos tiene varios componentes: ambiental, físico y socioeconómico. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) considera a la gestión de los recursos como un proceso integrado que promueve el desarrollo sostenible entre los componentes: agua, suelo y los recursos relacionados (Geng, 2016). Bajo esta perspectiva, la GIRH se centra en cuatro dimensiones tales como el recurso agua, los usuarios del agua, la escala espacial y la escala temporal (Flores, 2014). La dimensión agua incluye la cantidad y la calidad del recurso hídrico, considerando todos los procesos del ciclo hidrológico.

La GIRH también está relacionada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), debido a que estos se enfocan en la protección de los recursos naturales y su uso sostenible, así como el acceso de agua potable para todos y entre otros (PNUD, 2015). Esta tesis busca contribuir a los objetivos número 11 y 12 y las metas correspondientes (tabla 1).

Tabla 1. Objetivos y metas del desarrollo sostenible relacionados con la reducción de la contaminación por microplásticos.

Objetivos	Metas
11. Ciudades y comunidades responsables, es decir, estas sean más inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles	11.1 De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales
	11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países
	11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo
12 Producción y consumo responsable, es decir, el uso eficiente de los recursos naturales	12.1 Aplicar el Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, con la participación de todos los países y bajo el liderazgo de los países desarrollados, teniendo en cuenta el grado de desarrollo y las capacidades de los países en desarrollo
	12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales
	12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización

Adaptado de (PNUD, 2015)

El primer objetivo hace referencia a ciudades y comunidades sostenibles y establece como metas asegurar el acceso a los servicios básicos adecuados, como servicio de recojo de residuos sólidos; aumentar la capacidad de planificación y gestión participativa, y la reducción de los impactos negativos de las ciudades con especial atención a la calidad de aire y la gestión de desechos (residuos) municipales. El objetivo 12, referido a la producción y consumo responsable, establece como una de sus metas reducir la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclaje y reutilización. Ambos objetivos se relacionan con la gestión de residuos sólidos y concuerdan con diferentes estudios en que una de las fuentes principales de MP son los residuos sólidos mal gestionados que terminan en los cauces de los ríos.

La calidad del recurso está relacionada al cumplimiento funcional para el que puede ser usado; que se pueda mantener el equilibrio del ecosistema y sus características físicas, químicas y microbiológicas (Mendoza, 2018). La calidad puede ser alterada en estas características por acciones antropogénicas principalmente. Las acciones antropogénicas negativas se relacionan a la contaminación de los recursos hídricos por descarga de los efluentes, pasivos ambientales, desechos de residuos sólidos, entre otros. Actualmente, es una preocupación creciente la contaminación de los recursos hídricos por la presencia de los MPs y plásticos. En este escenario, el Gobierno peruano, a través del Congreso de la República, promulgó la Ley N° 30884, que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables (Ley N° 30884, 2018). Esta norma tiene el objetivo de regular “plástico de un solo uso, otros plásticos no reutilizables y los recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano en el territorio nacional”. La norma sienta las bases para proponer nuevos lineamientos de control de MPs en los cuerpos de agua del Perú.

2.1. Microplásticos en ecosistemas de agua dulce

Hasta la fecha, existen pocas iniciativas y políticas sobre el control de MPs en los recursos hídricos, en especial, en ecosistemas de agua dulce, tanto a nivel internacional y local. A nivel internacional, existen estudios enfocados a monitorear y caracterizar los MPs en las matrices ambientales de sedimento y agua dulce. Los primeros estudios sobre los microplásticos fueron en los ecosistemas marinos (Carpenter et al., 1972), donde se identificó la presencia de esférulas de poliestireno en las costas sur de Nueva Inglaterra. En el año 1974, otro estudio reportó la presencia de MPs en aguas

superficiales del Atlántico Noroccidental, esférulas³ de poliestireno y discos de polietileno (Colton et al., 1974). Sin embargo, los primeros reportes en agua dulce datan recién del año 2011 con el estudio realizado en los ríos Los Ángeles y San Gabriel, en Estados Unidos, cuyo objetivo fue determinar el aporte de MPs hacia a playas del sur de California. En el río Los Ángeles se han reportado 12 932 partículas/m³, entre 1 y 4,75 mm y 819 partículas/m³ mayores a 4,75 mm. Mientras, los resultados de los ríos San Gabriel y Coyote Creek reportaron 411 partículas/m³ entre 1 y 4,75 mm y 125 partículas/m³ superiores a 7,75 m (Moore et al., 2011).

En Chicago, Illinois, se ha evaluado la presencia de MPs en el canal Norte influenciado por la descarga de efluentes domésticos. Se ha reportado mayor concentración después de la descarga del efluente. Las concentraciones medias fueron 1,91 (0,81) /m³ aguas arriba y 17,93 (11,05) /m³ aguas abajo (McCormick et al., 2014).

En los grandes lagos Erie y St. Clair, se han reportado MPs compuestos por la presencia de poliestireno, gránulos y fragmentos de plásticos: 817 partículas en el lago St. Clair y en el lago Erie, 1576 partículas. Una posible fuente de la gran cantidad de partículas en el lago Erie podría estar asociada a los desechos urbanos (Zbyszewski et al., 2014). En los ríos urbanos de noreste de Illinois y noreste de Indiana (canal de Norte y río DuPage) se han reportado MPs en promedio de 1 338 757 partículas/día, con mínimo 15 520 partículas/día y máximo de 4 732 709 partículas/día. Los MPs con mayor reporte fueron: pellets, fibras y fragmentos, compuestos en su mayoría por polietileno, polipropileno y poliestireno. Asimismo, se ha determinado que existe la compatibilidad entre los MPS y las bacterias. Es decir, los MPs sirven de sustrato para la supervivencia de las bacterias (McCormick et al., 2016a).

En Estados Unidos y Canadá se han realizado estudios en los grandes lagos Laurentianos (Huron, Erie y Superior) y se ha encontrado mayor cantidad de MPs en el lago Erie que en los otros dos. La abundancia promedio de MP fue 43 157 partículas/km² y la abundancia máxima 463 423 partículas / km²; los gránulos (polietileno y polipropileno) y fragmentos se han evidenciado en mayor cantidad y estarían asociados a los productos usados en limpiadores faciales que ingresan a través de sistemas de desagüe, y la abundancia superior en lago Erie estaría asociada a la alta densidad poblacional (Eriksen et al., 2013).

³ Esferúlas, son partículas pequeñas que tienen la forma de esferas.

En las costas del lago Huron (Canadá) se registró un total de 3209 piezas de plástico que incluye 108 fragmentos y 117 piezas de espuma de poliestireno, sobre una superficie de sólo 85 m²; en la playa de Sarnia se obtuvo 2818 partículas con una densidad 408 partículas/m². Asimismo, en el mismo estudio se han reportado 32 partículas de polietileno, 12 de polipropileno y 1 partícula de tereftalato de polipropileno (Zbyszewski & Corcoran, 2011). Los MPs reportados en mayor concentración son fibras, fragmentos, pellets y espumas de poliestireno.

En Canadá, se estudió la presencia de los MPs en el río San Lorenzo donde se determinó la presencia de microplástico en 8 puntos de 10, en promedio 52 a 13 759 partículas/m². Los peces bentónicos que se alimentan de los detritos y de las partículas en suspensión tienen mayor probabilidad de ingesta de MPs. Asimismo, relaciona la presencia de MP en los sedimentos de río San Lorenzo a la alta densidad de la población y las industrias presentes en el área de estudio (Castañeda et al., 2014). Los MPs más comunes son espumas de poliestireno, seguido por pellets de resina.

En Suiza, en el lago Ginebra se realizó un estudio sobre MPs, macroplásticos y MPs en peces. Se encontró partículas de poliestireno en mayor cantidad en las muestras de la primera campaña: nueve partículas/muestras en sedimento y en agua superficial 48 1146 partículas/km² (Faure et al., 2012).

En Italia, durante el estudio en la costa norte del lago de Garda se registraron 1,108 ± 983 MP/m². En el muestreo en la costa sur se reportó 108 ± 55 MP/m², y se precisó que la alta concentración de MPs en el norte podría deberse a la fuerza del viento que sopla de Sur a Norte; se han encontrado MPs de baja densidad como: poliestireno, polietileno y polipropileno (Imhof et al., 2013).

En Asia (Mongolia), específicamente en el lago Hovsgol, se ha evidenciado gran cantidad de plásticos mayores en las costas del lago y se han registrado en promedio 20 264 partículas/km² y máximo de 44 435 partículas/km². Los MPs registrados están compuestos por fragmentos, películas (láminas) y fibras. La abundancia de MPs en el lago Hovsgol es por falta de un sistema de gestión adecuado de residuos sólidos (Free et al., 2014).

En el río Danubio se han identificado MPs en dos periodos, en el año 2010 y 2012; el mayor resultado se obtuvo en el año 2010, con una abundancia máxima de 141 647,7 partículas/1000m³. El mayor porcentaje son esferulas con 73,9% de abundancia (Lechner et al., 2014). En Inglaterra, en el estuario de Tamar, se ha realizado un estudio

sobre la composición y la abundancia de MPs y se han reportado 204 partículas, 84% de las cuales son partículas de plásticos, en proporción: 40% de polietileno, 25% de poliestireno y 19% polipropileno; en el resto se encuentran otros plásticos, con una concentración promedio de 0,028 MPs/m³, constituidos por fibras, pellets y fragmentos (Sadri & Thompson, 2014).

En los estudios revisados, no es posible la comparación inmediata de los resultados debido a que son obtenidos en diferentes matrices (sedimentos y aguas superficiales). Sin embargo, en todos se evidencia la contaminación por los MPs en los ecosistemas marinos y ecosistemas de agua dulce. En la tabla 2 se resumen los estudios recientes sobre MPs en agua dulce.



Tabla 2. Estudios sobre microplásticos en agua dulce con reporte cronológico (Adaptado de Eerkes-Medrano et al., 2015)

Área de estudio	Matriz ambiental	Tamaño de muestras/Tamaño de malla	Reporte de Abundancia	Autores
Ríos Los Ángeles y San Gabriel/Estados Unidos/Norteamérica	Cuerpo de agua (superficie, columna de agua y agua de fondo)	Clases de tamaño: $\geq 1,0$ mm; $< 4,75$ mm y $\geq 4,75$ mm Número de malla: 333, 500 y 800 μ m	Coyote Creek 4999,71 partículas Río San Gabriel 51 603 partículas Río Los Ángeles 1 146 418,36 partículas Tamaño de partículas: 1 y 4,75 mm	Moore et al., 2011
Lago Huron/Canadá-Estados Unidos/Norteamérica	Sedimento	Clases de tamaño: < 5 mm pellets de plástico y > 5 mm de plásticos rotos, Poliestireno	Lago Huron: 3 209 partículas 2984 pellets, 108 fragmentos y 117 partículas de espumas de poliestireno 85 m ²	Zbyszewski et al., 2011
Lago Ginebra/Europa	Sedimento/superficie de agua	Clases de tamaño: < 2 mm, < 5 mm (sedimento) < 5 mm, > 5 mm (agua) Número de malla: 300 μ m	Máximo: 9 partículas/muestra (sedimento) 48 146 partículas/km ² (agua)	Faure et al., 2012
Lagos Superior, Huron y Erie/Canadá-Estados Unidos/Norteamérica	Superficie de agua	Clases de tamaño: 0,355 – 0,999 mm, 1,00 – 4,749 mm, $> 4,75$ mm Número de malla: 333 μ m	Máximo: 463 423 partículas/km ² Promedio 43 157 partículas/km ²	Eriksen et al., 2013
Lago Garda/Italia/Europa	Sedimento	Clases de tamaño: 9 - 500 μ m, 500 μ m - 1 mm, 1 - 5 mm > 5 mm	Máximo: 1108 partículas/m ² Promedio: No Indica	Imhof et al., 2013
Lago Hovsgol/Mongolia/Asia	Superficie de agua	Clases de tamaño: 0,335 – 0,999 mm, 1,00 – 4,749 mm y $> 4,75$ mm Tamaño de malla: 333 μ m	Máximo: 44 435 partículas/km ² Promedio: 20 264 partículas/km ² Incluye todas partículas (fragmentos, láminas y fibras), 81% $< 4,75$ mm	Free et al., 2014

Área de estudio	Matriz ambiental	Tamaño de muestras/Tamaño de malla	Reporte de Abundancia	Autores
Río Danubio/Austria/Europa	Superficie de agua	Clases de tamaño: <2 mm, 2-20 mm Tamaño de malla: 500 µm	Máximo: 141 647,7 partículas/1000m ³ Promedio: 937,6(±8 543,8) partículas/1000m ³ Las esférulas representan 73,9% (~3 mm)	Lechner et al., 2014
Estuario de Tamara/Inglaterra/Europa	Superficie de agua	Clases de Tamaño: <1 mm, 1 - 3 mm, 3 - 5 mm y >5 mm Tamaño de malla: 300 µm	Máximo: 204 partículas Promedio: 0,028 partículas/ m ³ 171,36 partículas de plásticos (40% polietileno, 25% poliestireno y 19% polipropileno)	Sadri & Thompson, 2014
Río San Lorenzo/Canadá/ Norteamérica	Sedimento	Clases de tamaño: No indica Tamaño: 500 µm	Promedio: 13 759 (±13 685) partículas/m ² Las partículas identificadas están en rango de 0,4 – 2,16 mm	Castañeda et al., 2014
Canal Norte de Chicago/ Estados Unidos/Norteamérica	Superficie de agua	Clases de tamaño: 0,3 - 5 mm Tamaño: 333 µm	Aguas arriba de la descarga de efluentes: 1,91 (0,81) partículas/m ³ Aguas abajo de la descarga de efluentes: 17,93 (11,05) partículas/m ³	McCormick et al., 2014
Lagos Erie, St. Clair/ Estados Unidos- Canadá/Norteamérica	Sedimento	Clases de tamaño: < 2 mm	Lago Erie 1576 partículas (603 pellets, 934 fragmentos y 39 piezas de poliestireno Lago 817 (110 pellets, 192 fragmentos y 234 piezas de poliestireno y 281 piezas intactos)	Zbyszewski et al., 2014
Canal Norte de Chicago y Río DuPage/ Estados Unidos/Norte América	Superficie de agua	Clases de tamaño: 0,333 – 4,75 mm Tamaño: 333 µm	Máximo: 4 732 709 partículas/día Promedio: 1 338 757 partículas/día Los MP están compuestos por pellets, fibras y fragmentos	McCormick et al., 2016
río Jequetepeque/Perú	Sedimento	Tamaño: 500 µm – 1 mm	18 ítems de MPs	Manrique, 2019

La investigación sobre los MPs en ecosistemas de agua dulce requiere la participación de los diferentes especialistas: biólogos, hidrólogos, ambientales, químicos y científicos sociales con el objetivo de evaluar, identificar y, finalmente, reducir la presencia de MPs en los ecosistemas acuáticos a través de políticas públicas. Estas deben ser concertadas, coherentes para dar una solución al problema de MPs.

2.2. Origen de los microplásticos

Los diferentes estudios publicados coinciden en que la presencia de los MPs está asociada a las actividades antropogénicas: producción de plásticos y sus derivados, actividades productivas, turismo, el tipo de manejo de residuos urbanos, la cantidad de efluentes descargadas y densidad poblacional cerca a los cuerpos de agua como ríos y lagos (Eerkes-Medrano et al., 2015). Las fuentes de MPs podrían estar asociadas a las actividades antrópicas en las playas y la descarga de efluentes (Faure et al., 2012). Según Sadri y Thompson, las fuentes principales de los plásticos y MPs son botaderos, vertimiento de efluentes domésticos y actividades de turismo (Sadri & Thompson, 2014). Mientras, Zbyszewski et al. señalan que la presencia de MPs está asociada a plásticos de mayor tamaño que son botados a los cuerpos de agua y se relacionan regiones con alta población y zonas industriales (Zbyszewski et al., 2014).

El origen de los MPs está relacionado a las fuentes primarias y fuentes secundarias. Las fuentes primarias están referidas a partículas nuevas usadas en diferentes industrias, es decir, las partículas de polietileno, polipropileno y poliestireno contenidas en los productos de limpieza y cosméticos que, por ejemplo, ingresan al sistema acuático a través de la descarga de efluentes domésticos (Eerkes-Medrano et al., 2015). Asimismo, las materias primas (pastillas, escamas y pellets) utilizadas para fabricar productos plásticos son considerados fuentes primarias (Lechner et al., 2014). Las fuentes secundarias están relacionadas a la descomposición y fragmentación de macroplásticos por acciones físicas y químicas (Cole et al., 2011), es decir, por la exposición a la intemperie. Las fuentes secundarias también están relacionadas con las fibras eliminadas por el lavado de ropa que está hecha principalmente de poliéster, poliacrilato y poliamida, y pueden llegar a más de 100 fibras por litro de efluente (Eerkes-Medrano et al., 2015).

La presencia de MPs en el lago Ginebra es evidencia de que el tiempo de residencia de los plásticos es prolongado. Los diversos MPs de poliestireno y polipropileno utilizados

en los limpiadores faciales son posibles contaminantes (Eriksen et al., 2013). Los MPs presentes en los limpiadores fáciles funcionan como exfoliantes (Martínez, 2014).

2.3. Efectos de los microplásticos en el ambiente

Los principales efectos al ambiente estarían asociados a daños fisiológicos como obstrucción digestiva, heridas internas, sensación de falsa saciedad y muerte por inanición. Es decir, los aves marinas y aves de agua dulce consumen MPs en forma directa (los confunden con los alimentos) e indirecta (a través de peces). Los peces no son ajenos al consumo de MPs. (Eerkes-Medrano et al., 2015) Otro de los efectos es la liberación de los componentes propios y la desorción de contaminantes peligrosos (Faure et al., 2012).

Los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) se adhieren a la superficie de MPs (Eriksen et al., 2013). Asimismo, los MPs contienen y adsorben los microcontaminantes y agentes patógenos (Wagner et al., 2014). Entre los contaminantes persistentes que están relacionados a los MPs están los bifenilos policlorados (PCBs) y los productos utilizados en la producción de plásticos que pueden ser transferidos a los organismos acuáticos (Eerkes-Medrano et al., 2015). La presencia de MPs en ecosistemas marinos y agua dulce podría afectar el ingreso de los rayos de luz que permiten el intercambio de nutrientes (Eerkes-Medrano et al., 2015).

Los efectos de los MPs en la salud de las personas aún son desconocidos, sin embargo, podrían estar afectándoles por el consumo de agua potable, agua embotellada y sal de mesa con presencia de MPs (Eerkes-Medrano et al., 2015; Yang et al., 2015). Las personas podrían estar expuestas a MPs a través de la alimentación o la inhalación y como consecuencia llegar a los pulmones y al sistema circulatorio—(Wright & Kelly, 2017).

2.4. Aspectos legales relativos a los microplásticos

Las políticas regulatorias específicas sobre la prevención y mitigación de MPs en los ecosistemas marinos y de agua dulce, hasta la fecha, no son claras, aunque existen políticas generales relacionadas. A nivel internacional, se desarrolla la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS), la cual está relacionada a las condiciones ambientales, científicas, económicas, comerciales de los países miembros de la Convención del Mar. Asimismo, el Programa de Acción Mundial de PNUMA declara el compromiso de las Naciones para proteger y conservar el ambiente marino de los

impactos adversos de las actividades realizadas en la tierra. También, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y otros organismos han firmado el Acuerdo de Honolulu con el objetivo de mitigar la contaminación producida por los desechos vertidos a océanos y mares (PNUMA, 2011). Por otro lado, la Comisión Intergubernamental Oceánica de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Grupo de Expertos sobre los aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino (GESAMP) tienen la función de realizar evaluaciones ambientales del medio marino, con especial interés en la basura marina vertida (GESAMP, 2019).

En la Unión Europea existe la Directiva Marco de Estrategia Marina (MSFD), cuya política ambiental es la protección del medio marino, con el objetivo alcanzar un buen estado ambiental del medio marino hasta 2020. Asimismo, existe la Directiva 2000/59/EC, cuyo objetivo es la reducción de residuos generados por las embarcaciones y residuos de carga en mar (Ministerio para la Transición Ecológica, 2002).

En Estados Unidos se cuenta con algunas regulaciones para residuos marinos. Un ejemplo de ello es la Ley de Control e Investigación de la Contaminación de Plásticos Marinos (MPPRCA) y el Programa de Desechos Marinos (MDP) cuyo objetivo es mitigar y regular los residuos marinos, es decir, identificar y evaluar los impactos adversos de los residuos marinos sobre el medio marino y los recursos vivos; también buscan concientizar a la población sobre los desechos marinos a través de la educación (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019; United States Congress, 1994).

En Chile se encuentra vigente la Ley Número. 21.100, la cual prohíbe la entrega de bolsas plásticas de comercio en todo el territorio nacional con el objetivo de proteger el medio ambiente tanto del comercio mayorista como minorista. El organismo a cargo de realizar la verificación del cumplimiento de la Ley son las municipales de todo el territorio chileno (Ley Num.10.100, 2018).

Para el caso peruano, las leyes relacionadas a MPs están enmarcadas en la gestión de residuos sólidos. A través del Decreto Legislativo N° 1278 y el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos en sus Artículos 30, 44 y, el literal i) del Artículo 55, se señala que “Abandonar, verter y/o disponer de residuos en lugares no autorizados por la autoridad competente está prohibida por la normativa vigente” (Decreto Supremo

N° 014-2017-MINAM, 2017, 24-26). Asimismo, en diciembre de 2018, el Congreso de la República del Perú aprueba Ley N° 30884, que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. En esta norma se señala que se debe reemplazar las bolsas de un solo uso en forma progresiva, con el objetivo de no generar contaminación por MPs. Además, la Ley define los MPs, como:

“Partículas pequeñas o fragmentos de plástico que miden menos de 5 mm de diámetro que derivan de la fragmentación de bienes de base polimérica de mayor tamaño, que pueden persistir en el ambiente en altas concentraciones, particularmente en ecosistemas acuáticos y marinos, pudiendo ser ingeridos y acumulados en los tejidos de los seres vivos” (Ley N° 30884, 2018, 9)

El Congreso de la República da iniciativa sobre los MPs en el Perú, aun cuando no se desarrollen leyes específicas que contemplen su correcto tratamiento de los MPs. En este escenario, surge la necesidad de generar leyes específicas para la prevención y mitigación de MPs en los ecosistemas de agua dulce. También es necesario tener mayor conocimiento del origen, distribución y los impactos de los MPs en las aguas superficiales de ríos, lagos y otros. En base a la Ley N° 30884, se deben plantear políticas sobre MPs, por ejemplo, desarrollar una normativa sobre la actual gestión de los residuos, el manejo de aguas residuales, las actividades pesqueras, los diseños de productos, los consumos de los productos y los patrones de comportamiento de la población.

3. MICROPLÁSTICOS

3.1. ¿Que son microplásticos?

Los primeros estudios sobre los MPs fueron realizados en los ecosistemas marinos (Carpenter et al., 1972), donde se determinó la presencia de esférulas de poliestireno en las costas sur de Nueva Inglaterra en Estados Unidos. En el año 1974, otro estudio reportó la presencia de partículas de plásticos menores a 5mm en aguas superficiales del Atlántico noroccidental como esférulas de poliestireno y discos de polietileno (Colton et al., 1974). Actualmente, estas partículas de plástico son denominadas como MPs.

La denominación de MPs es diversa, puede variar de acuerdo a cada estudio realizado en diferentes matrices ambientales (agua, sedimento). Los MPs incluyen partículas de plásticos como fibras y gránulos (Cole et al., 2011). Dris y Klein consideran que los MPs son partículas pequeñas menores a 5mm de longitud (Dris et al., 2015; Klein, 2015). Además, este último señala que existe mayor consenso en aceptar esta denominación (Klein, 2015). Crawford considera los MPs como partículas de un límite inferior a 5mm (Crawford & Quinn, 2017). La NOAA apoya estas denominaciones a través de su definición de MPs como: partículas de plástico que miden menos de 5 mm de longitud. Con todo lo mencionado y para efectos de la presente investigación, se consideran MPs a las partículas de plásticos menores a 5 mm de longitud, que incluyen filamentos, peliúclas, fibras, esférulas, fragmentos, entre otros.

3.2. Microplásticos, plásticos y residuos de plásticos

Según la revisión de los estudios, el microplástico está relacionado a los plásticos y sus residuos. Los plásticos son producidos a base de petróleo, gas natural y, en los últimos años, con materiales biodegradables (Faure et al., 2012). Asimismo, es importante desarrollar sobre la producción de plásticos y la generación de residuos para relacionar con los MPs.

La producción mundial de plásticos fue 280 millones de toneladas para el año 2016; en América Latina fue 11 millones 200 mil toneladas que representan 4% de la producción (PlasticsEurope, 2017). Para el año 2016, el continente asiático tuvo una producción de 140 000 mil toneladas que representa 50% de la producción mundial, seguido por el continente europeo con 53 200 toneladas. En la tabla 3 se muestra la producción de plásticos por continente.

Tabla 3. Producción mundial de termoplásticos y termoestables para el año 2016

Región	Producción (toneladas)	Porcentaje (%)
		280 000
NAFTA (Canadá, México y Estados Unidos)	50 400	18
Europa	53 200	19
CEI	5 600	2
ASIA	140 000	50
- <i>China</i>	81 200	29
- <i>Japón</i>	11 200	4
- <i>Resto de Asia</i>	47 600	17
Oriente medio y África	19 600	7
América Latina	11 200	4

Elaboración propia (Adaptado de Plastics Europe, 2017) NAFTA y CEI⁴

En la figura 1 se muestra la distribución porcentual por continente de la producción de plásticos.

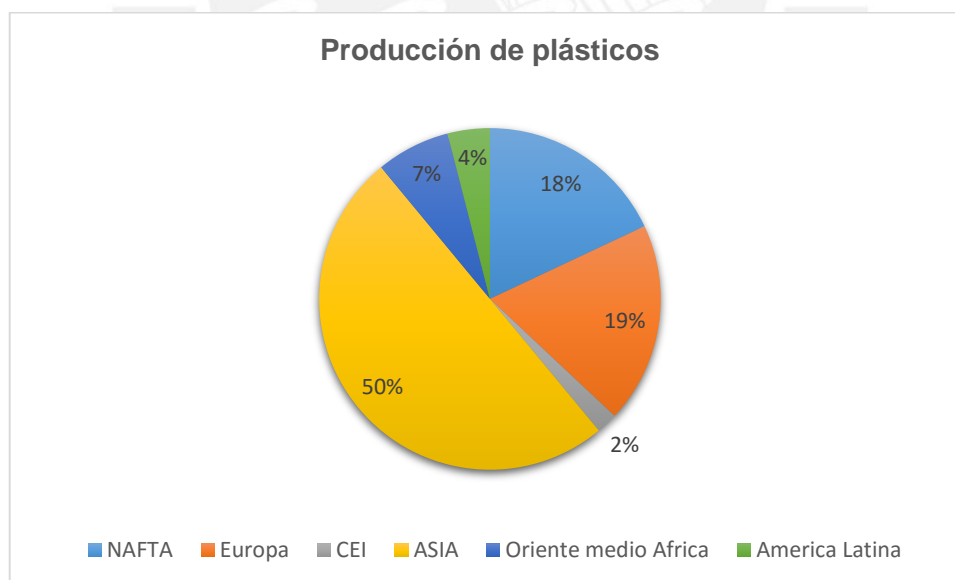


Figura 1. Producción de plásticos por continente (adaptado de Plastics Europe, 2017)

⁴ NAFTA: Tratado de Libre Comercio de América del Norte en sus siglas en inglés; CEI: Comunidad de Estados Independientes (Armenia, Azerbaiyán, Bielorusia, Kazajistán, Kirguistán, Moldavia, Tayikistán y Uzbekistán)

En caso de Perú, la importación de materia prima para la producción de plásticos fue de 954 305 mil toneladas en el año 2018 (Nishi, 2018). Entre las principales materias primas de plásticos importados están: polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, policloruro de vinilo y poliestireno. Estas materias primas se usan para la producción final de bolsas, empaques de alimentos, aislamiento para cables, tuberías, baldes de pintura, entre otros (Collantas et al., 2017) La materia prima con mayor volumen de importación es polietileno, tanto de baja densidad y de alta densidad, con 344 493 toneladas y polipropileno con 268 574 toneladas como se aprecia en la tabla 4.

Tabla 4. Materia prima importada en el año 2018 para la producción de plásticos

Materias primas importadas	Volumen (t/año)
polietileno	344 493
polipropileno	268 574
policloruro de vinilo	148 936
poliestireno	35 786
polietilen tereftalato	156 516
Total	954 305

Fuente: tabla adaptado de Nishi, 2018.

3.2.1. Tipos de plásticos

Los primeros plásticos fueron elaborados a partir de resinas naturales, sin embargo, con los avances tecnológicos, los plásticos fueron elaborados de materiales sintéticos. También es importante señalar que la mayoría de los plásticos son elaborados en base a los derivados de petróleo (Manilla & Martínez, 2008).

Existen dos tipos de plásticos: termoplásticos y termoestables. Los primeros se pueden fundir por la acción de calor, lo que permite darles forma mediante moldes y posteriormente, se estabilizan al enfriarse. Los termoplásticos alcanzan el 90% de producción y los termoestables 10% de la producción mundial (Areizaga et al., 2002).

Dentro de la categoría de termoplásticos, los polímeros más comunes y de mayor uso son polipropileno (PP), polietilen tereftalato (PET), policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) (Areizaga et al., 2002; Billmeyer, 1975). Los termoplásticos tienen la

característica de ser reciclables para ser moldeados nuevamente en diferentes formas (Areizaga et al., 2002).

Los termoestables son polímeros reticulados que tienen las características de no reblandecer con el calor. Asimismo, son insolubles e incapaces de fundirse (Areizaga et al., 2002; Beltrán & Marcilla, 2012). Algunos ejemplos de los termoestables son poliuretano, resinas epoxi y fenol-formaldeído (Beltrán & Marcilla, 2012).

La presente investigación se enfoca en los termoplásticos, debido a sus múltiples usos en las diferentes industrias y su consumo masivo, con especial atención en PP, PET, PVC y PS. Para la nomenclatura de plásticos se toma como referencia la norma ASTM D7611/D7611M. Esta norma señala tres elementos: un triángulo equilátero, número de identificación de resina y, finalmente, término abreviado para material polimérico (D7611/D7611M, 2018) . En la figura 2 se muestran los indicativos empleados en los recipientes fabricados de los diferentes polímeros.

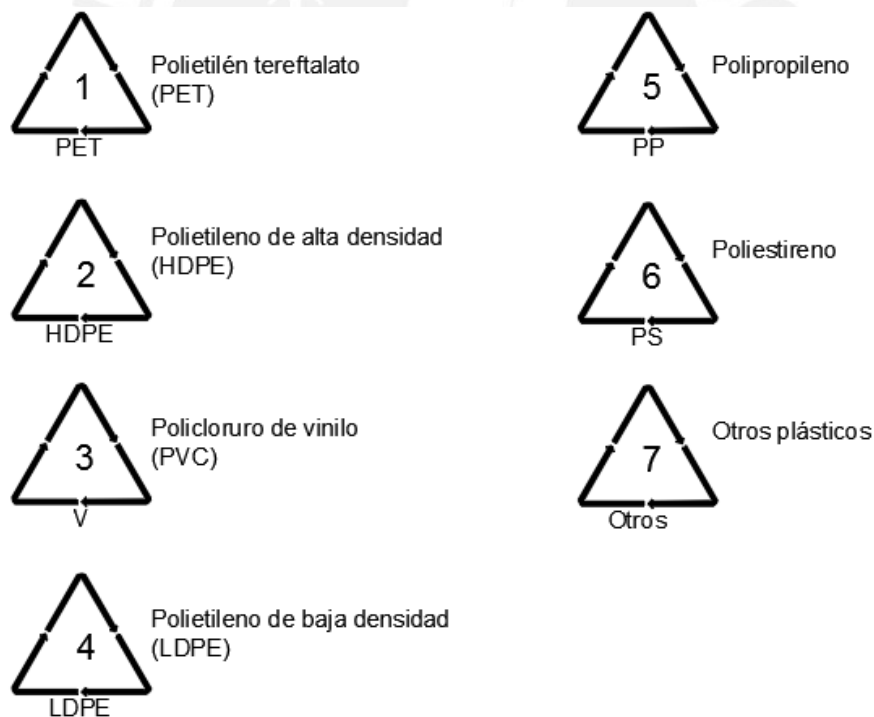


Figura 2. Códigos de identificación para algunos termoplásticos (D7611/D7611M, 2018)

3.2.1.1. Polipropileno (PP)

El polipropileno, es un polímero semicristalino perteneciente a la familia de las poliolefinas y se puede obtener a partir de la polimerización catalítica del propileno

(Gómez, 2014). Posee una alta cristalinidad, buena resistencia térmica y eléctrica, baja absorción de humedad, transparencia y no es tóxico. Una de sus propiedades más resaltantes es su dureza, es decir, alta resistencia a la abrasión e impacto. La densidad de este plástico es $0,97 \text{ g/cm}^3$ (Areizaga et al., 2002). En la figura 3 se muestra la estructura molecular.

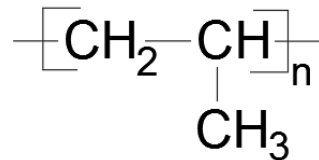


Figura 3. Estructura de polipropileno (Klein, 2015)

3.2.1.2. Tereftalato de polietileno (PET)

Es el plástico más usado en nuestra sociedad. Los productos hechos de polietileno van desde materiales de construcción y aislantes eléctricos hasta material de empaque. Se obtiene, por una reacción química de policondensación del ácido tereftálico y el etilenglicol. La densidad de este plástico es $1,45 \text{ g/cm}^3$. En la figura 4, se muestra la estructura molecular (Areizaga et al., 2002)

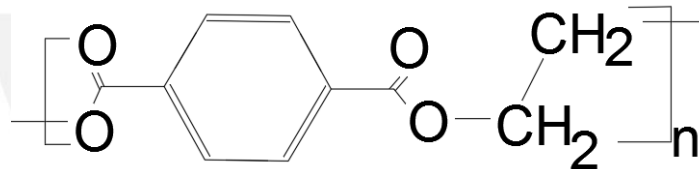


Figura 4. Estructura de tereftalato de polietileno (Klein, 2015)

3.2.1.3. Poliestireno (PS)

El poliestireno, posee baja densidad, estabilidad térmica. Asimismo, es rígido y quebradizo características que lo desfavorecen. Es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de fusión. Permite su moldeo por inyección; Posee buenas propiedades eléctricas, absorbe poca agua. La densidad es $1,04 \text{ g/cm}^3$. En la figura 5, se muestra su estructura molecular (Areizaga et al., 2002).

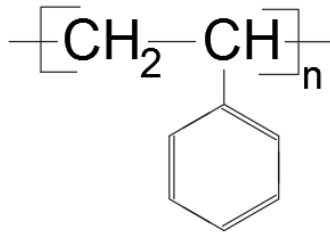


Figura 5. Estructura de poliestireno (Klein, 2015)

3.2.1.4. Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo dentro de su composición química está los elementos de carbono, hidrógeno y cloro. El 43% de su composición proviene del petróleo y el 57% cloruro de sodio. El proceso por el cual se obtiene es la polimerización del cloruro de vinilo. En este proceso se forma un polvo blanco, fino, inodoro y químicamente inerte. La temperatura de fusión es de 212 – 310 °C. La vida útil del PVC es 15 y 100 años. Asimismo, el PVC es utilizado mayormente en la industria de construcción, industria de automóvil, industria eléctrica. La densidad del PVC es 1,2 a 1,4 g/cm³(Areizaga et al., 2002) . En la figura 6, se muestra su estructura molecular.

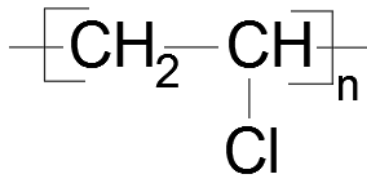


Figura 6. Estructura de policloruro de vinilo (Klein, 2015)

3.2.2. Residuos de plásticos

Hoornweg y Bhada-Tata realizaron un análisis sobre el volumen mundial de residuos urbanos hasta el año 2012. La generación mundial de residuos fue 1289 Mt por año en función a los ingresos de la población; los países con ingresos bajos han generado 75 Mt por año, los países con ingresos en el rango de bajo a medio han generado 369 Mt, los países con ingresos medios han generado 243 Mt, los países con altos ingresos han generado 602 Mt por año. En la figura 7 se muestra la cantidad de generación de residuos urbanos. Los países con altos ingresos generan mayor cantidad de residuos urbanos, y la cobertura de recolección es 95%, mientras que los países con ingresos bajos generan menor cantidad de residuos urbanos, aunque su cobertura de recolección es menor con 78% (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). De acuerdo a la clasificación en función de los ingresos, el Perú se encuentra en el grupo de ingresos medios.

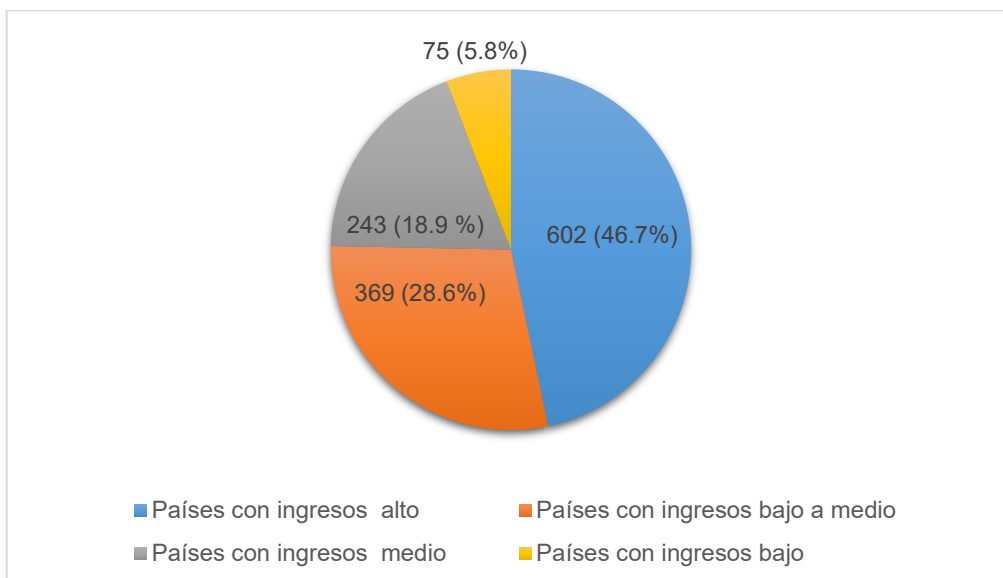


Figura 7. Residuos generados según los ingresos en los países

Fuente: Elaboración propia basado en (Hornweg & Bhada-Tata, 2012)

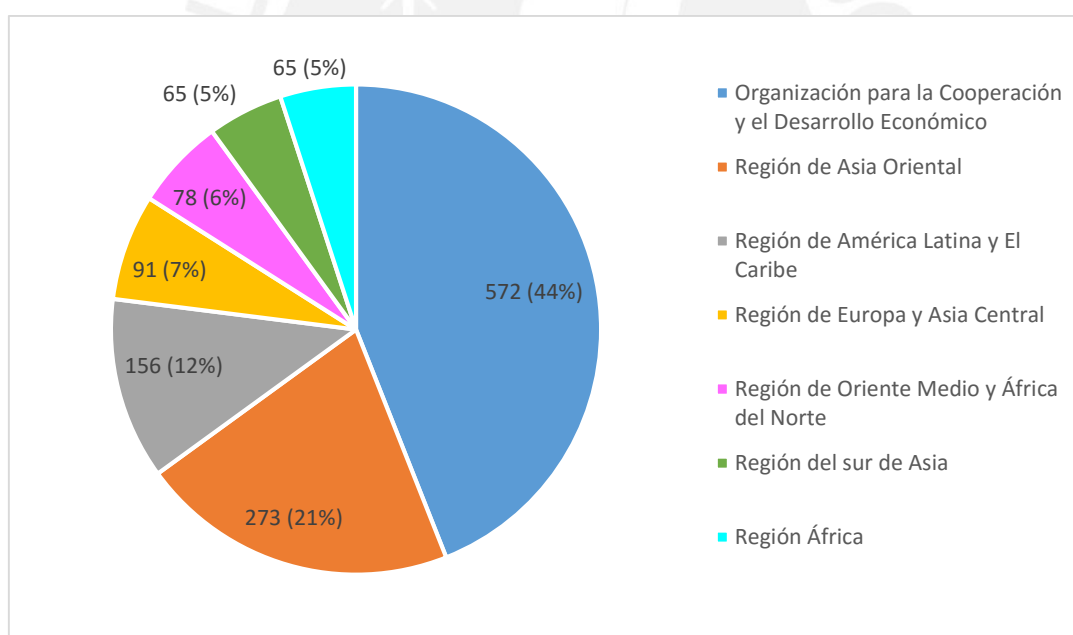


Figura 8. Producción de residuos urbanos por región en megatoneladas por año

Fuente: Elaboración propia basado en (Hornweg & Bhada-Tata, 2012)

En la región de Latinoamérica y el Caribe ha generado 156 Mt por año, que representa 12% de residuos generados a nivel mundial, clasificada en residuos urbanos orgánicos, plásticos, vidrio, metal y entre otros. Los residuos orgánicos 84,24 Mt por año, residuos de papel 24,96 Mt por año, residuos de plásticos 18,72 Mt por año, residuos de vidrio 6,24 Mt por año, residuos de metal 3,12 Mt por año y otros 18,72 MT por año

conformados por residuos de textiles, cuero, caucho, desechos electrónicos, electrodomésticos, cenizas y otros materiales inertes (Hoorweg & Bhada-Tata, 2012).

El plástico representa 12% de la producción total, con 18,72 Mt por año, conformado principalmente por: botellas, envases, bolsas, tapas y vasos. La distribución porcentual se muestra en la figura 9.

En Perú para el año 2013, la generación de residuos urbanos fue 7,03 Mt por año, distribuida a lo largo de las tres regiones. En la costa 1,77 Mt por año, en la sierra 1,65 Mt por año, en la selva 0,708 Mt por año.

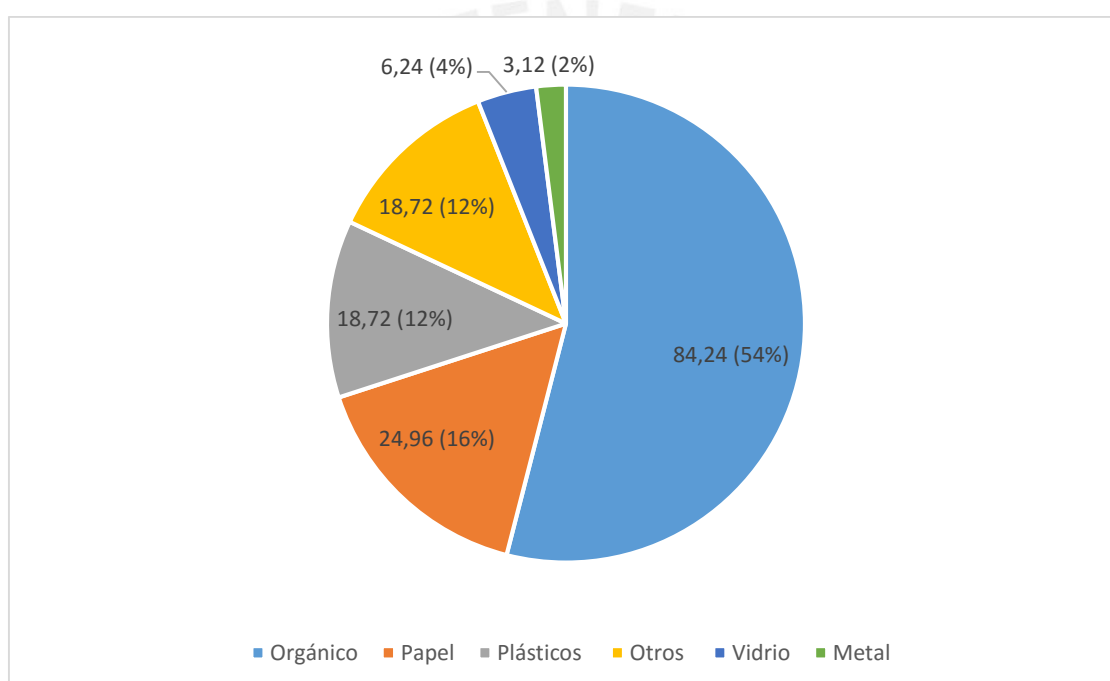


Figura 9. Tipos de residuos urbanos

Fuente: Elaboración propia basado en Hoorweg & Bhada-Tata, 2012

En Lima Metropolitana y Callao se generaron 2,89 Mt por año, lo cual representa el 41% de la generación total del país (Ministerio del Ambiente, 2013). La composición de los residuos urbanos generados en las ciudades rurales y urbanas peruanas es diversa, 54% corresponde a orgánico y 7% corresponde a plásticos compuesto por los siguientes: PET, PS, PVC, PP y 49% conformado no reaprovechable y peligroso. En la figura 10 se muestra el tipo de residuos generados. Según Ruíz, 75% de PET es reciclados y transformado a fibras de poliéster y el 25% a láminas de monofilamentos (Ruiz et al., 2009).

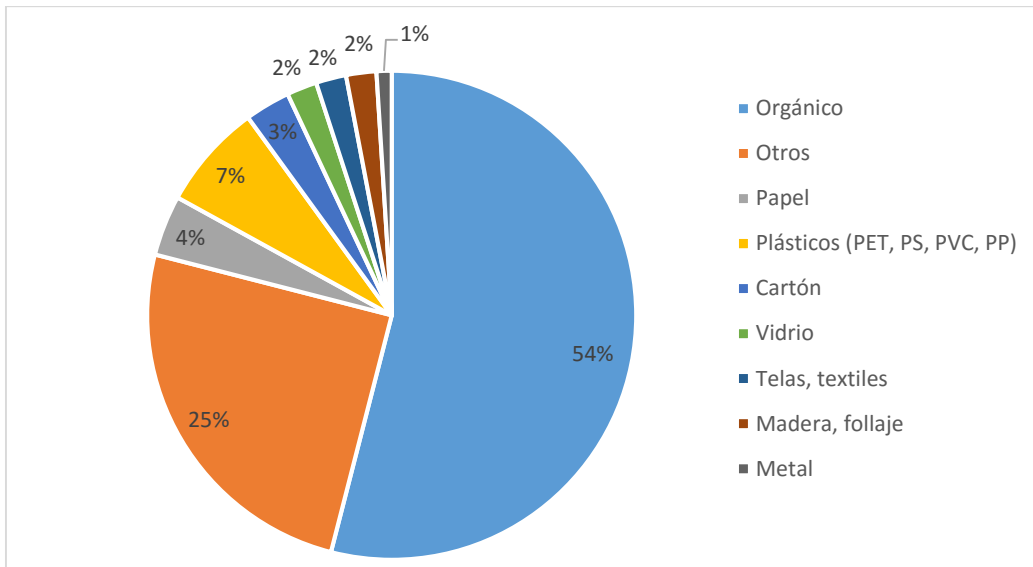


Figura 10. Composición de residuos urbanos en Perú

Fuente: Elaboración propia basado en Ruiz et al., 2009

3.3. Muestreo y análisis de microplásticos

Según Keith, definir las zonas de muestreo ambiental obedece a la revisión y reconocimiento de las condiciones actuales de la zona de estudio. En base ello podrás decidir donde muestrear. Asimismo, recomienda obtener las muestras en las posibles zonas de contaminación. Pero, precisa que mucho dependerá del objetivo del estudio (Keith, 1966).

Para diseñar una red muestreo y analizar las muestras deben considerar el tiempo que conlleva realizar el estudio, el costo para el cumplimiento del propósito del estudio (Keith, 1966).

Se utilizan diferentes metodologías de muestreo y de análisis de MPs en agua y sedimentos.

Existen métodos para el muestreo de MPs (Crawford & Quinn, 2017):

- 1) Muestreo selectivo, consiste en la extracción directa de los elementos de interés, que tenga similar forma y tamaño superior a 1mm. La desventaja de esta técnica es que solo se escoge lo visible, descartando los elementos no visibles.
- 2) Muestreo de volumen reducido, se reduce del volumen global una muestra específica para su posterior análisis, es decir, se descarta la mayoría de las

muestras, generalmente se aplica para muestreo a aguas superficiales. La desventaja es que las muestras podrían no ser representativas.

- 3) Muestreo a granel (total), se toma la muestra completa, sin reducir. Las ventajas de esta técnica son que las muestras son representativas y el procesamiento de muestras es completa. La desventaja es la gran cantidad de muestras a procesar. Generalmente, este método se utiliza para muestreo de sedimento.

Los factores que intervienen en el muestreo de MPs son la dirección de viento y la precipitación. En muestreos de estuarios y mares se tiene que considerar la dirección del viento debido a que influye en la distribución de MPs en las playas, es decir, los MPs se acumulan en las zonas intermareales. El incremento de la precipitación y la variabilidad climática podría aumentar la cantidad de MPs en los ríos. La presencia de MPs en cuerpos de agua está relacionada con las características propias de los MPs como densidad, forma y composición química. Asimismo, en ecosistemas de agua dulce existen factores que influyen en la presencia de MPs como la velocidad del flujo de agua y turbulencia de la misma. (Crawford & Quinn, 2017a)

Para el muestreo de sedimentos, al igual que para el muestreo de MPs en aguas superficiales, no existe una única metodología, mucho dependerá de los objetivos del estudio. Existe muestreo de mayor escala, cuyo objetivo es la comprensión general de la presencia de MPs en función al grado de contaminación, sin considerar la precisión de los resultados y el muestreo de menor escala, cuyo objetivo es la precisión de los resultados, el cual debe desarrollarse en áreas pequeñas (Crawford & Quinn, 2017b). La presencia de MP en los sedimentos puede variar con el espacio y tiempo. Es decir, el tiempo de permanencia en el sedimento y las características de las muestras de sedimento, arena y limo. Las parcelas de muestreo y la profundidad de muestreo varían en los diversos estudios. (Crawford & Quinn, 2017b) Klein et al. proponen volúmenes pequeños en el orden de 25 cm³ y una profundidad que varía entre 2 a 5 cm (Klein, Dimzon, Eubeler & Knepper, 2018).

El análisis de MPs en cuerpos de agua de dulce y sedimentos se basa en procedimientos físicos y químicos que dependen de los objetivos de la investigación. Durante el proceso de muestreo e identificación se pueden contaminar las muestras con partículas ajenas, para lo cual se debe seguir un control estricto. Se deben recolectar las muestras en materiales que no sean de plástico; durante la manipulación se deben limpiar los materiales con agua destilada y cubrir con papel aluminio (Crawford & Quinn, 2017a). Asimismo, Klein señala que si se usan plásticos para el transporte de las

muestras se debe incluir el análisis de muestras en blanco para determinar la contribución de carga contaminante (Klein et al., 2018).

El muestreo de sedimentos se realiza en las playas laterales y en el fondo de los ríos, lagos y mares. Algunos autores recomiendan que el muestreo en sedimento lateral se realice en paralelo al flujo de agua que pasa por la sección del cauce del río. La línea de muestreo puede ser de 60 m, el intervalo de muestreo es cada 10 m. (Zbyszewski & Corcoran, 2011) Para Klein el muestreo de sedimento puede ser con intervalo de 10 a 15 metros (Klein et al., 2015). Asimismo, el muestreo puede ser a través del raspado de superficie de sedimento de 2 cm profundidad (Costa et al., 2010; Faure et al., 2012). Klein propone volúmenes pequeños en el orden 25 cm^3 y una profundidad que varía entre 2 a 5 cm. (Klein et al., 2018). Asimismo, la toma de muestra puede ser aleatoria (Klein, 2015).

La muestra puede ser secada en una estufa a $90 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas. Después del muestreo se pasa a la fase de destrucción de materia orgánica con peróxido de oxígeno al 30%. Posterior a ello, pasa a la fase de separación por densidad, luego de recuperar los MPs se pasa a la etapa de reconocimiento visual y, cuando se necesario, con la ayuda de un microscopio de 40x; finalmente, pasa a la fase de caracterización a través de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) (Klein et al., 2018; Sadri & Thompson, 2014). En la figura 11 se muestra la secuencia de análisis de MPs.

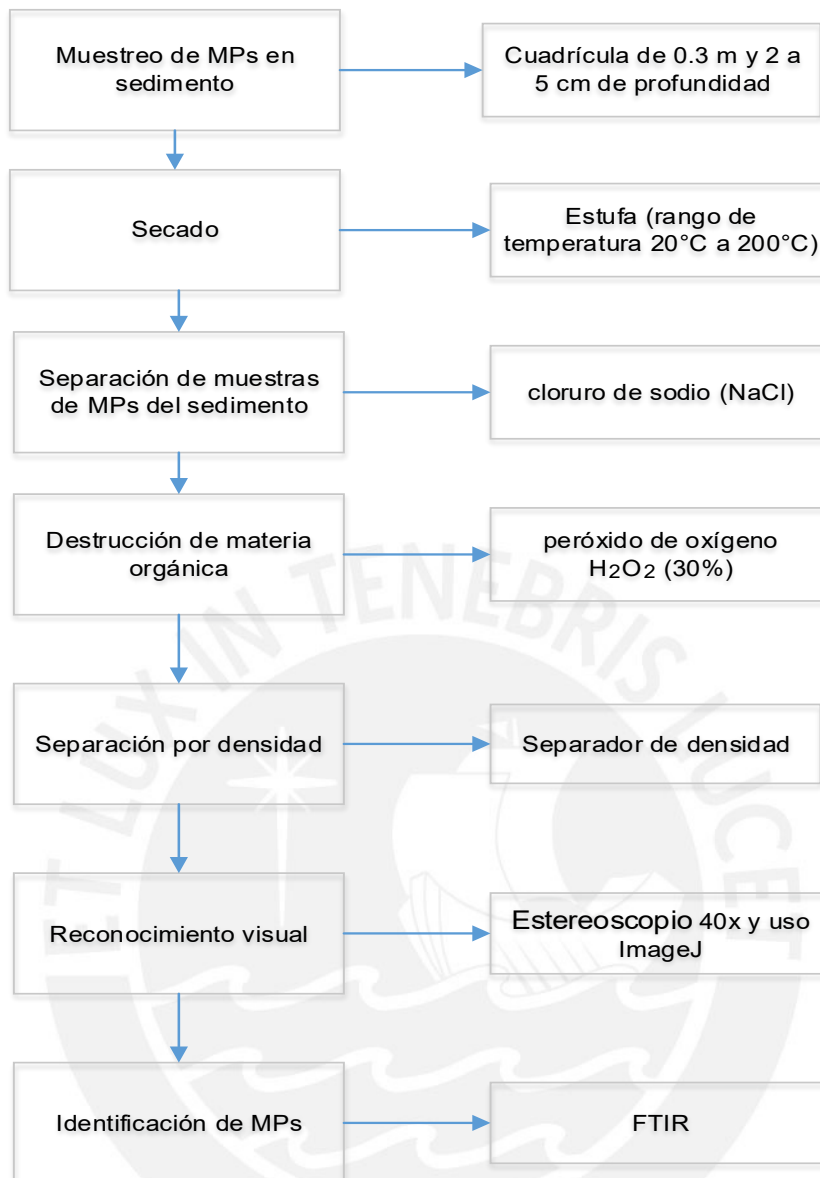


Figura 11. Esquema de análisis de microplásticos en sedimento (adaptado de Klein et al., 2018)

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Ubicación

La cuenca del río Rímac está ubicada en el sistema hidrográfico del vertimiento del océano Pacífico (ver figura 12). Sus aguas tienen origen en el nevado Pacay a una altitud de 5508 m s. n. m. La cuenca se encuentra delimitada por las provincias de Yauli, Huarochirí, Lima y la provincia constitucional de Callao (Astorayme, 2017). La cuenca se encuentra entre las latitudes sur $11^{\circ}36' 52''$ y $12^{\circ} 05' 47''$ y las longitudes oeste $76^{\circ}11'05''$ y $77^{\circ}04'36''$. El área total de la cuenca es 3503 km^2 y tiene 286,15 kilómetros de longitud. El río Rímac tiene dos afluentes principales: río Santa Eulalia y río Rímac, que confluyen en las cercanías de la ciudad de Chosica (ver figura 12) (Astorayme, 2017). La pendiente media del lecho de los ríos afluentes está en el orden de 4,94% y 6,33% (Autoridad Nacional de Agua, 2010).



Figura 12. Ubicación de los ríos Santa Eulalia y Rímac
Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2015.

En la naciente del río Santa Eulalia se encuentran quince lagos que forma parte del río Rímac con 77 millones de m³. Por el lado de río Rímac se encuentra la presa Yuracmayo cuya capacidad es de 48,3 millones de m³ (Autoridad Nacional de Agua, 2010).

El área de estudio se encuentra en la cuenca del río Rímac específicamente en la subcuenca del río Rímac bajo. Tiene su inicio en la latitud sur 11°55'23" y su final en la longitud oeste 76°40'8". El área del río Rímac bajo es 441,03 km² que representa 12,59% del área total. Tiene una longitud de 22,92 km desde la unión entre el río Santa Eulalia y el río Rímac hasta la desembocadura en el Mar Peruano (Autoridad Nacional de Agua, 2010).

4.2. Clima

El área de estudio es de clima seco desértico, correspondiente a la zona de vida Desierto Desecado Subtropical (dd-S), caracterizada por la presencia de planicies, valles costeros que van desde 0 hasta 1800 m s. n. m. El relieve topográfico presenta zona plana, ondulaciones y presencia de cerros que forman parte de las estribaciones andinas. La presencia de vegetación es muy escasa, influenciada por el clima seco desértico (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1976).

La temporada de lluvias es en los meses de diciembre a marzo y la temporada seca de mayo a diciembre. La precipitación anual promedio es de 10 mm en la cuenca baja, mientras en la cuenca alta las precipitaciones son mayores a 800 mm al año. La temperatura promedio anual es 15,5 °C, con temperaturas máximas de 22,9 °C y mínimas de 8,0 °C en la cuenca alta. En la cuenca baja la temperatura media anual es 20,0 °C, con temperaturas máximas y mínimas de 27,8°C y 13,5°C respectivamente (Autoridad Nacional de Agua, 2010)

La cuenca media y baja presentan eventos climáticos extremos. En la cuenca media se presentan huaycos con gran capacidad destructiva y en la cuenca baja, con grandes inundaciones. Las inundaciones están relacionadas con eventos extremos como El Niño Costero que se manifiesta con temperaturas extremas del aire, lluvias intensas y caudales máximos. La temperatura durante el evento de marzo del 2017 presentó un incremento de 3°C en los principales distritos en Lima, alcanzando un máximo de 30 ° C. Las lluvias intensas se manifestaron en la vertiente occidental de los Andes por efecto de las altas temperaturas del mar, en especial en las ciudades de Piura, Chiclayo, Trujillo, Lambayeque y Huarney (ENFEN, 2017). Para caso de Lima, la precipitación máxima

alcanzó 13 mm en marzo de 2017, frente al promedio histórico de 0,12 mm en la estación Santa Eulalia (SENAMHI, 2017), mientras el caudal máximo registrado en año 2017 fue 126,5 m³/s frente al caudal promedio histórico de 74,55 m³/s (ENFEN, 2017; SENAMHI, 2017). En la figura 13 se puede ver la variación del caudal desde mes enero hasta abril en el periodo.

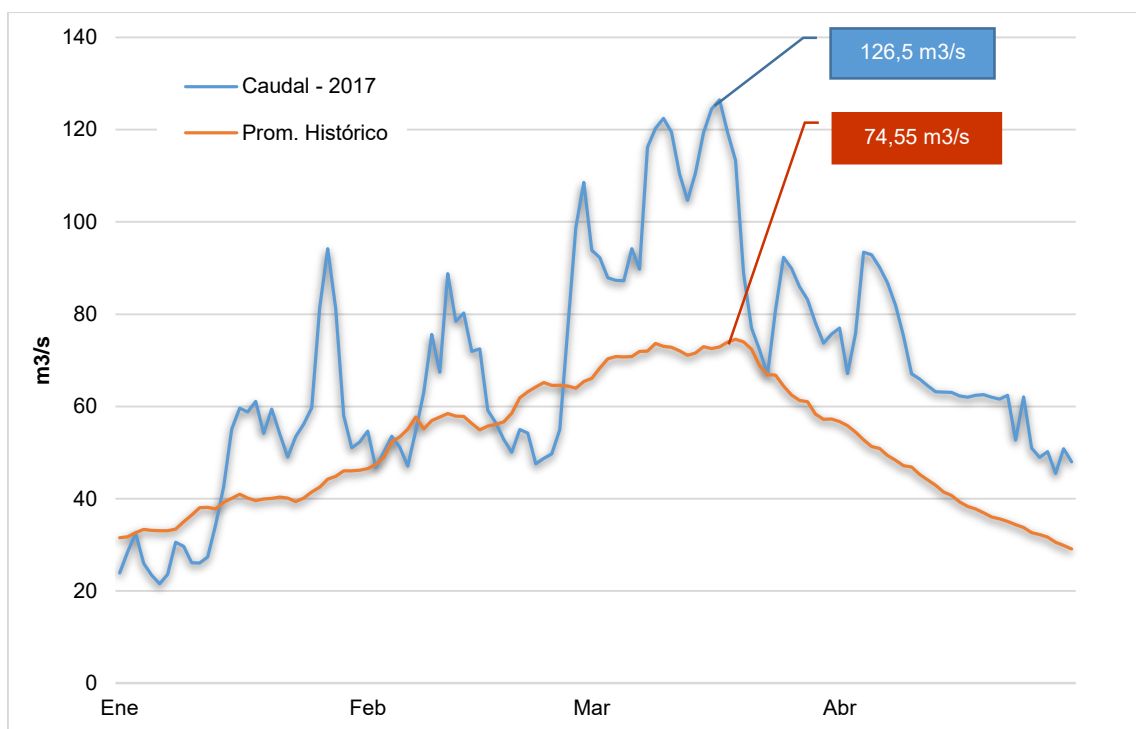


Figura 13. Caudal histórico en la estación Chosica
Fuente: Senamhi, 2017, ENFEN, 2017.

4.3. Población

La zona de estudio es considerada altamente poblada debido a que está conformada por los distritos que corresponden a Lima Metropolitana y a la provincia constitucional del Callao con una población de 9 569 468 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Los distritos que se encuentran aledaños al río Rímac bajo son: Lurigancho, Chaclacayo, Ate, San Juan de Lurigancho, El Agustino, Cercado de Lima, Rímac, San Martín Porres, Carmen de La Legua Reynoso y Callao. La población de los diez distritos total es 3 512 137 habitantes, lo que representa 36,7 % de los nueve millones de la población de Lima Metropolitana, con una densidad poblacional de 5 613,13 Hab/km². Los distritos con mayor población son: San Juan de Lurigancho, San Martín Porres y

Ate, con 1 038 495 habitantes, 654 083 habitantes y 599 196, respectivamente. En la figura 14 se muestran los distritos que se encuentran aledaños al río Rímac bajo.



Figura 14. Distritos aledaños al río Rímac bajo.

Fuente: elaboración propia en Base cartográfica de Instituto Nacional Geográfico (IGN)

La densidad de la población está relacionada con el acceso a agua potable, al sistema de desagüe, recojo de residuos y las descargas de diferentes contaminantes al río Rímac bajo. Según INEI, 94,8 % tiene acceso al servicio al agua potable en la provincia de Lima y Callao, mientras el acceso al sistema de saneamiento básico es 94,6% en provincia de Lima y 93,7% en Callao (INEI, 2018).

4.4. Uso de agua y actividades principales de la población

La caracterización del recurso hídrico es importante para gestionar tanto la oferta como la demanda. La oferta de agua está representada por las lagunas, bofedales y ríos de la cuenca Rímac. A lo largo de la cuenca del río Rímac existen 20 estaciones de aforo; sin embargo, solo 4 estaciones están operativas, las cuales tienen la finalidad de medir el caudal para determinar la oferta. Las estaciones operativas son Milloc, Sheque, Tamboraque y Chosica, donde el caudal promedio es 4,08 m³/s, 11,5 m³/s, 14,09 m³/s y 27,34 m³/s, respectivamente (Autoridad Nacional de Agua, 2010). Por otra parte, la demanda del recurso hídrico está representada por el uso de agua por las actividades

agrícolas, mineras, energéticas, industriales, piscícolas y poblacionales (Autoridad Nacional de Agua, 2010).

La estación Milloc se encuentra en el río Pallca; el uso de agua está relacionado a la actividad eléctrica, es decir, generación de energía a través de la central hidroeléctrica Huanza. La estación Sheque se encuentra en el río Santa Eulalia, aguas arriba de la estación y los usos principales son: la ganadería, agricultura y poblacional (La Matta, 2017); aguas abajo, el uso de agua está relacionado a la generación de energía con la central hidroeléctrica Callahuanca. La estación Tamboraque se encuentra en el río San Mateo, aguas arriba de la estación, la actividad minera predomina desde las épocas prehispánica y colonial hasta la actualidad; y la contaminación está asociada a la descarga de efluentes y pasivos ambientales (Calla, 2010). Aguas bajo, la principal actividad es la generación de energía eléctrica a través de la central hidroeléctrica Matucana (ver figura 15).



Figura 15. Actividades de minería e hidroeléctricas en la cuenca

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2019

La estación de Chosica se encuentra en el río Rímac, aguas arriba de la estación de aforo y el uso es turístico (centros recreacionales) y agrícola a menor escala; aguas abajo de la estación, el uso de agua es poblacional. SEDAPAL capta a través de planta

de tratamiento La Atarjea un caudal de 17,5 m³/s. Una segunda planta de tratamiento capta 5,0m³/s a través de la planta Huachipa. El uso poblacional del agua representa 82,30% del total de volumen 27,34 m³/s. Otros usos del agua son: agrícola, municipal, comercial, industrial y público (Korea Water Resources Corporation, 2015).

La demanda del recurso agua en la cuenca del río Rímac se incrementará debido a que se estima que la población para el año 2040 será 12 389 548 habitantes en toda la cuenca río Rímac, y la población de la cuenca baja del río Rímac será 12 299 000 habitantes⁵. (Korea Water Resources Corporation, 2015; INEI, 2015)

4.5. Contaminantes del río Rímac

Los contaminantes principalmente están relacionados aguas residuales de la actividad minera. Según la Autoridad Nacional de Agua (ANA), a lo largo de la cuenca se han identificado 33 efluentes mineros de un total de 505 fuentes. Aguas arriba de los tributarios del río San Mateo y Santa Eulalia existen minas funcionando y algunos de ellas abandonadas, principalmente en la zona de Aruri. Los contaminantes están relacionados a los siguientes elementos como: aluminio (Al), hierro (Fe) y arsénico (As). Asimismo, en la zona de San Mateo se ha identificado presencia de plomo (Pb) y cadmio (Cd), y estaría influenciando por la actividad minera (Autoridad Nacional de Agua, 2012)

En la cuenca media y baja, los contaminantes están relacionados con aguas residuales de las industrias informales y la contaminación por residuos sólidos que son arrojados ilegalmente en el cauce del río Rímac. A lo largo de la cuenca se han identificado 323 fuentes por contaminación de residuos sólidos; en su composición se encuentran: residuos municipales con 203 fuentes, residuos de construcción con 113 fuentes, residuos industriales con dos fuentes y residuos orgánicos con cinco fuentes. Para el caso de residuos municipales, están en su mayoría en la cuenca baja con 123 fuentes de un total de 203 (Korea Water Resources Corporation, 2015). Según Yachi, los residuos sólidos arrojados en las orillas del río Rímac están compuestos principalmente por plásticos (Yachi, 2014).

⁵La población futura fue proyectada empleando el método de diseño de estimación de la población utilizando la tasa de crecimiento de 1.2 del INEI. Debido a que las proyecciones de la población de INEI es para todo el Perú y no departamental.

El tributario en la quebrada Huaycoloro es el mayor aportante de carga contaminante de aluminio (Al) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅). Posiblemente, la fuente de contaminantes estaría relacionada a la presencia de fábricas industriales y, en especial, fábricas de cuero (Autoridad Nacional de Agua, 2012)



5. METODOLOGÍA

5.1. Selección de estaciones de muestreo

El diseño y la selección de zonas de muestreo obedece a un análisis de la información existente, del reconocimiento del entorno de la zona estudio y la verificación de accesos seguros existentes a las zonas de muestreo. Según la revisión bibliográfica, la presencia de MPs está relacionada a las actividades de la planta de tratamiento de agua, la planta de tratamiento de aguas residuales domésticos y la descarga de efluentes. Además de ello, los MPs están relacionados a botaderos de residuos sólidos y a la densidad poblacional en las áreas circundantes a los ríos.

El muestreo de MPs fue planteado para dos temporadas: en época de avenida correspondiente a mes de noviembre 2017 y estiaje correspondiente al mes de agosto 2018. Las dos temporadas permitirá verificar la variación en la concentración de los MPs.

Para determinar el número de estaciones se realizó el reconocimiento previo a la zona de estudio en el mes de mayo del 2017. Durante el trabajo de reconocimiento se identificó la confluencia de río Rímac y río Santa Eulalia, las zonas de descarga de efluentes y la presencia de residuos sólidos. En base a ello se definieron 8 estaciones de muestreo. Sin embargo, se descartó la estación número 8 ubicada en el margen izquierdo de la desembocadura del río Rímac por ser una zona de acceso restringido, es decir, pertenece a las instalaciones de la Comandancia de la Base Naval del Callao. La codificación, descripción y las coordenadas geográficas se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Estaciones de monitoreo.

Código	WGS 84 zona 18		Altitud msnm	Río	Descripción	Ubicación en base al margen del río
	Este	Norte				
RM-1	319310	8681456	968	Rímac	A 250 metros del puente Ricardo Palma	Derecha
RM-2	318379	8681455	951	Santa Eulalia	A 150 metros de la confluencia al río Rímac	Derecha
RM-3	309917	8676274	715	Rímac	A 60 metros del puente Los Ángeles	Izquierda
RM-4	296944	8671981	467	Rímac	A 25 metros del Puente CONFODES	Izquierda
RM-5	287470	8670287	312	Quebrada Huaycoloro	A 50 metros de la confluencia del río Rímac	Derecha
RM-6	287484	8670567	304	Rímac	A 500 metros de La Atarjea de SEDAPAL	Derecha
RM-7	283415	8669677	234	Rímac	A 300 metros del La Libertad	Izquierda

Fuente: Elaboración propia.

La ubicación espacial de las estaciones de muestreo se encuentra en la figura 16.

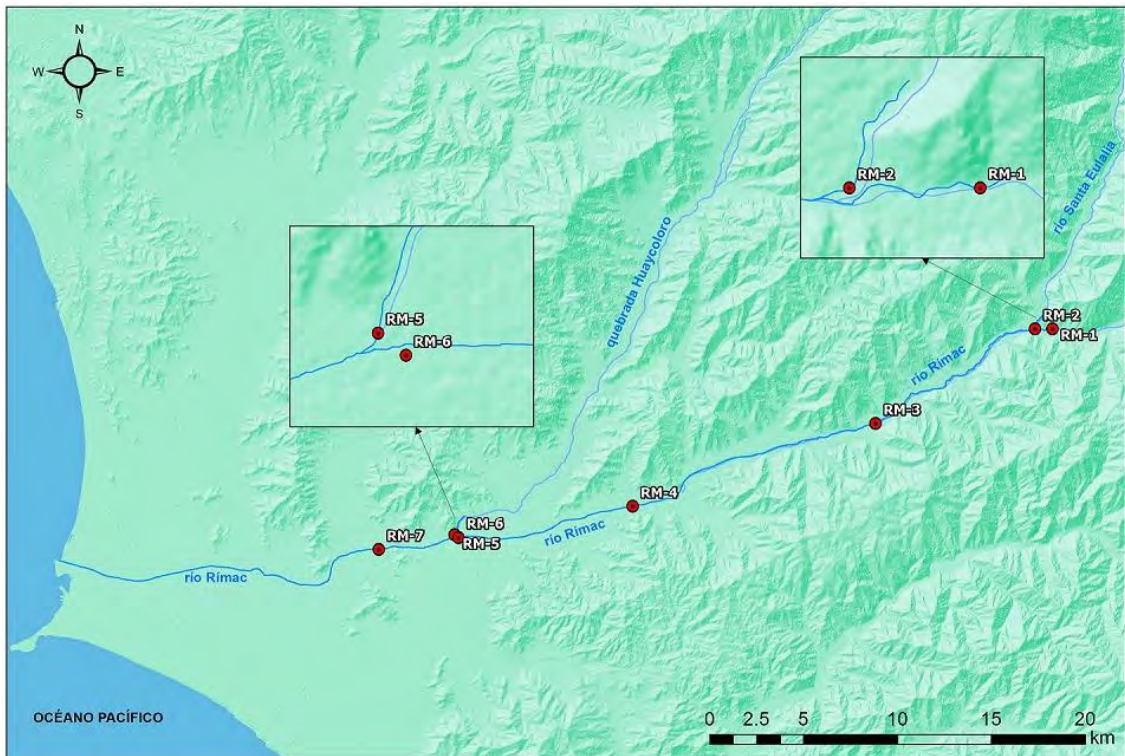


Figura 16. Ubicación de las estaciones de monitoreo
Elaboración propia en base a la cartografía de ING

5.1.1. Estación RM-1 Huayaringa Centro

Esta estación de muestreo se encuentra a 250 metros del puente Ricardo Palma, en la margen derecha del río, cerca a la población Huayaringa Centro (ver figura 16). La zona de muestreo se caracteriza por presencia de vegetación ribereña y playa fluvial angosta (ver figura 17).



Figura 17. Estación RM-1 Huayaringa Centro

5.1.2. Estación RM-2 Julio C. Tello

Esta estación de muestreo se encuentra a 150 metros de la confluencia al río Rímac, en la margen derecha del río y cercana a la población Julio C. Tello (ver figura 16). La zona de muestreo presenta muros de defensa ribereña y playa fluvial a 2 metros (ver figura 18).



Figura 18. Estación RM-2 Julio C. Tello

5.1.3. Estación RM-3 puente Los Ángeles

Esta estación de muestreo se encuentra a 60 metros aguas abajo del puente Los Ángeles, en la margen izquierda del río (ver figura 16). La zona de muestreo se caracteriza por presencia de vegetación ribereña en la margen izquierda y en el margen derecho se pueden apreciar construcciones de viviendas en el mismo cauce del río (ver figura 19).



Figura 19. Estación RM-3 puente Los Ángeles

5.1.4. Estación RM-4 puente Los FONCODES

Esta estación de muestreo se encuentra a 25 metros aguas abajo del puente Los Foncodes, en la margen izquierda del río (ver figura 16). La zona de muestreo se caracteriza por presencia amplias playas fluviales con acceso para lavado de ropa y vehículos (ver figura 20).



Figura 20. Estación RM-4 puente Los FONCODES

5.1.5. Estación RM-5 puente Huaycoloro

Esta estación de muestreo se encuentra a 50 metros de la confluencia al río Rímac, en la margen derecha de la quebrada Huaycoloro (ver figura 16). La zona de muestreo se caracteriza por la presencia de vegetación ribereña y se observa acumulación de sedimento lateral (ver figura 21).



Figura 21. Estación RM-5 puente Huaycoloro

5.1.6. Estación RM-6 antes de la bocatoma de La Atarjea

Esta estación de muestreo se encuentra a 500 metros antes de la bocatoma de La Atarjea de Sedapal, en la margen derecha del río Rímac (ver figura 16). La zona de muestreo se caracteriza por la presencia amplias playas y se observa poca vegetación ribereña (ver figura 22).



Figura 22. Estación RM-6 antes de la bocatoma de La Atarjea

5.1.7. Estación RM-7 puente la Libertad

Esta estación de muestreo se encuentra a 100 metros aguas abajo de la descarga de efluente proveniente de la planta de tratamiento de agua La Atarjea, en la margen derecha del río Rímac (ver figura 16). La zona de muestreo se caracteriza por la presencia de muros de defensa ribereña en ambos márgenes (ver figura 23).



Figura 23. Estación RM-7 puente la Libertad

5.2. Muestreo de microplásticos

Para el muestreo de sedimentos laterales se procedió a recoger una muestra completa usando una espátula de metal. Se raspó la superficie con una profundidad de 2,0 cm en un área de 30 cm por 30 cm. Se recogió las muestras a 2,0 metros en promedio desde la orilla del río. En la figura 24 se muestra el perfil de la zona de muestreo adaptada de la geología plana de Lima Metropolitana (Coll, 2017).

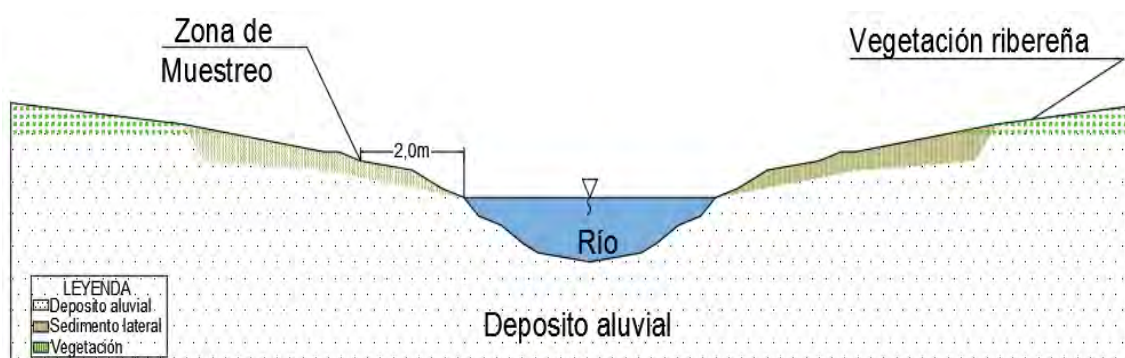


Figura 24. Sección de zona de muestreo. Elaboración propia.

En cada estación de muestreo se han tomado 2 muestras individuales con una separación de 8,0 metros aproximadamente. En la figura 25 se esquematiza la separación para la toma de muestras.



Figura 25. Distribución en zona de muestreo

La cantidad de muestra recogida en cada estación de monitoreo fue 1 kilogramo, y por cada estación de muestreo se recogieron dos muestras, con la separación indicada. Estas fueron guardadas en bolsa Ziploc®, codificadas y almacenadas en un contenedor para su transporte al laboratorio. Para evitar la contaminación de las muestras por su almacenamiento en las bolsas Ziploc®, se deben evitar las fricciones entre las bolsas. Para ello, se utiliza un separador en el contenedor (ver figura 26).

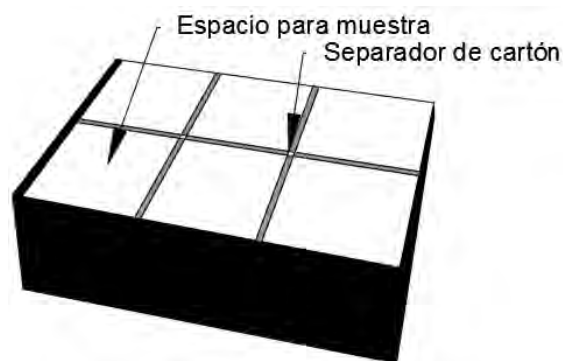


Figura 26. Caja contenedora de muestras con separadores de cartón

Además, las bolsas Ziploc® tienen bajo coeficiente de rozamiento (Bonilla, 2014).

5.3. Materiales, equipos y reactivos químicos

Los materiales, equipos y reactivos químicos fueron seleccionados considerando las metodologías utilizadas.

5.3.1. Materiales

A continuación, se presenta la lista de materiales utilizados para el muestreo y análisis.

- Vaso de precipitados de vidrio borosilicato 2000 mL
- Vaso de precipitados de vidrio borosilicato 600 mL
- Vaso de precipitados de vidrio borosilicato 400 mL
- Vaso de precipitados de vidrio borosilicato 250 mL
- Vaso de precipitados de vidrio borosilicato 100 mL
- Embudo de vidrio, diámetro 10 cm
- Embudo de vidrio, diámetro 9 cm
- Fiola 200 mL
- Probeta de vidrio de 50 mL
- Probeta de vidrio 1000 mL
- Matraz 600 mL
- Viales de vidrio 5 mL con tapa de plástico
- Luna de reloj, diámetro 10 cm
- Bagueta de vidrio
- Pinza metálica
- Espátula cuchara doble de metal 150 mm
- Cuchara de vidrio
- Soporte universal y ganchos
- Magneto
- Tubo de silicona 50 mm
- Pinza de Mohr
- Papel de aluminio
- Piseta 500 mL
- Tamices de bronce malla 0,5 mm, Retsch
- Tamices de acero Inoxidable, malla 63 µm, ASTM N° 230, W.S. TYLER
- Papel filtro Whatman 42, 125 mm diámetro
- Termómetro, BOECO- ZI-260

5.3.2. Equipos

En la tabla 6 se presenta la lista de equipos utilizados en análisis de MPs.

Tabla 6. Equipos utilizados

Equipos	Marca	Modelo
Balanza analítica (precisión 0,1 g)	OHAUS	AdventurePro
Balanza analítica (precisión 0,0001 g)	OHAUS	AdventurePro
Estereoscopio	LEICA	M80
Espectrofotómetro infrarrojo	PERKIN ELMER	Frontier FT-IR
Estufa	EOCELL	LSIS-B2V/EC111
Estufa	MEMMERT	UE400
Bomba de vacío	VACUUBRAND	ME 4R NT
Agitador magnético	INGENIEURBÜRO CAT M. ZIPPERER	M 6.1
Agitador magnético	THERMO SCIENTIFIC	CIMAREC

5.3.3. Reactivos químicos

En la tabla 7 se presenta la lista de reactivos equipos utilizados en procesamiento de las muestras y análisis de MPs.

Tabla 7. Reactivos químicos empleados

Nombre	Formula química	Marca	Grado de pureza
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	Merck	98-99
Cloruro de sodio, cristal	NaCl	J.T Baker	99,00
Sulfato de hierro (II)	FeSO ₄ .7H ₂ O	J. T. Baker	99,00
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂	J.T Baker	30
Agua destilada	H ₂ O	--	100

5.3.4. Preparación de soluciones químicas

Se mezclan 540 gramos de NaCl con 1500 mL de agua destilada para preparar una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl). Primero se agrega el cloruro de sodio y luego se agrega el agua destilada en vaso de precipitados de 2000 mL, limpio y seco. La solución es mezclada con un agitador magnético por 30 minutos o hasta observar que las partículas de NaCl ya no se disuelven. Finalmente, se almacena en un frasco de vidrio hasta su uso.

La solución de hierro (II) se prepara de la siguiente manera: se mezclan 3 g de sulfato de hierro (II). 7 H₂O con 100 mL agua destilada en un vaso de 250 mL. Se agregan 50 mL de agua destilada en la fiola de 200 mL y 1,2 mL de ácido sulfúrico H₂SO₄ concentrado. El ácido se agrega cuidadosamente sobre el agua, y no al revés, para

evitar alguna reacción violenta. Se trasvasa la solución diluida de sulfato de hierro a una fiola de 200 mL hasta su posterior uso.

5.4. Análisis de muestras

5.4.1. Preparación de muestras.

Se toman 400 gramos de cada muestra húmeda. Según Masura, los 400 gramos es la masa adecuada para el análisis de MPs en muestras de sedimento (Masura, Baker, Foster & Arthur, 2015). Se coloca la muestra pesada en un vaso de precipitado de 400 mL y luego en la estufa a 90 °C por 24 horas. Esta temperatura no alterará la forma original de MP a analizar (Horton et al., 2016; Masura et al., 2015).

5.4.2. Separación por densidad

Se toman 300 gramos de la muestra seca y se colocan en un vaso de precipitados de 600 mL. Se añaden 300 mL de solución saturada de cloruro de sodio con densidad 1,2 g/cm³ y se agita en forma manual con una espátula de madera. Se espera por 30 minutos hasta observar la flotación de partículas. Las muestras flotantes se filtran a través de dos tamices 0,5 mm y 0,63 mm. Las fracciones recuperadas se pasan a vasos de precipitados de 250 mL. Las muestras superiores a 0,5 mm se guardan para su análisis y, luego, se secan las muestras recuperadas en la estufa a 90 °C por 24 horas.

5.4.3. Determinación de la masa total de la muestra

Con una balanza analítica, de precisión de 0,1g, se pesa la muestra seca y luego se resta la masa del vaso de precipitado tarado. El resultado es la masa de microplásticos y muestras naturales. Las muestras pesadas se deben cubrir con papel aluminio para evitar la contaminación con otras partículas hasta la siguiente fase de oxidación.

5.4.4. Oxidación con peróxido de hidrógeno

Se inicia con la adición de 20 mL de solución de hierro (II), cuyo objetivo es facilitar el proceso de oxidación. Luego, se agregan 20 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%. Se calienta la muestra con el peróxido y se agita con magneto. La muestra debe alcanzar una temperatura de 75°C. La adición de peróxido se realiza hasta observar que no haya presencia de materia orgánica, lo cual se evidencia cuando ya no hay burbujeo en la muestra.

5.4.5. Separación por densidad y recuperación de microplásticos

5.4.6.1. Separación por densidad

Se agregan 6 gramos de cloruro de sodio por cada 20 mL de muestra oxidada, se agita la solución hasta diluir el cloruro de sodio. El objetivo es aumentar la densidad de la solución para recuperar mayor cantidad de microplástico. Luego se transfiere la muestra al separador de densidad y se deja reposar la muestra por 12 horas para que los sólidos puedan sedimentar (ver figura 27).

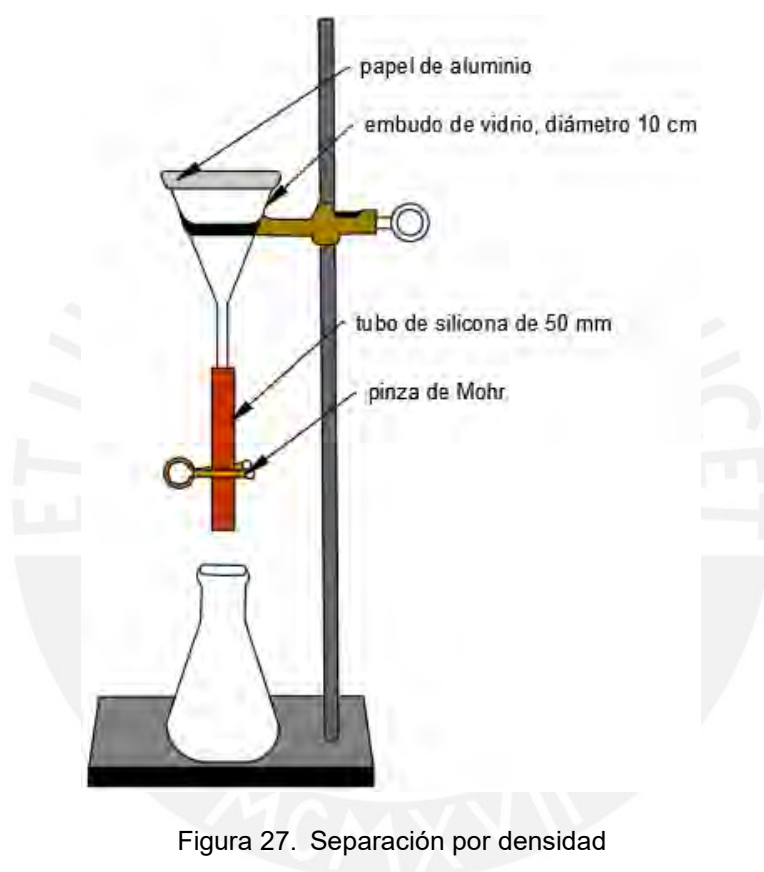


Figura 27. Separación por densidad

5.4.6.2. Recuperación de *microplásticos*

Después de 12 horas, la muestra que está en el separador de densidad es filtrada con bomba de vacío para recuperar los MPs. Se pesa un papel filtro Whatman 42 y se coloca en el embudo Büchner con la ayuda de una pinza metálica. Este se acopla al matraz de 600 mL con la ayuda del adaptador. El matraz se conecta a la bomba de vacío. Las muestras de MPs se transfieren al embudo Büchner lentamente. Se enjuaga el embudo con agua destilada (ver figura 28).



Figura 28. Recuperación de MPs por filtración con bomba de vacío.

Luego se recupera el filtro con los MPs y se coloca en placas Petri cubierta con papel aluminio y se almacena en desecador hasta su caracterización en el Estereoscopio Leica M80.

5.4.6. Identificación preliminar de microplásticos

Se colocan las muestras en la base del objetivo del Estereoscopio Leica M80, facilitado por Dra. Patricia Gonzales. Se registran las formas de los MPs y se fotografían. Se cuentan y se mide el tamaño de los MPs utilizando el software libre ImageJ. Para esta identificación preliminar, se ha utilizado la Guía de Identificación de Microplásticos que permite identificar las formas de los MPs (Coalition Clean Baltic, 2017). Luego se identificará el tipo de polímeros presente en cada MPs aislado a través de FTIR.

5.5. Obtención de microplásticos a partir de muestras comerciales

Los MPs de PVC, PET, PP, PS, PMMA, HDPE fueron obtenidos a partir de plásticos comercialmente accesibles. Es decir, los plásticos se trituraron hasta obtener muestras entre 5 a 1 mm. Las muestras de MPs fueron escaneadas en Espectrómetro Frontier (FT-IR) para obtener el fondo, es decir, 20 acumulaciones desde 400 hasta 4000 cm^{-1} con una duración de tres minutos y se obtuvo el espectro FTIR.

5.6. Análisis de componente social

El análisis de componente social en esta investigación está referido a obtener la información primaria, es decir, la percepción de la población sobre el manejo de residuos

sólidos y los MPs, para lo cual se aplicará la entrevista exploratoria. La entrevista es una estrategia que permite obtener información sobre lo que sabe, piensa y cree las personas (Guber, 2001). Es una herramienta que permite al entrevistador obtener información sobre opiniones, sentimientos, emociones, normas y valores. Según Guber, las entrevistas producen distintas reflexividades producto de la relación directa entre el entrevistador y el entrevistado.

La entrevista es una situación cara-a-cara donde se encuentran distintas reflexividades, pero, también, donde se produce una nueva reflexividad. Entonces la entrevista es una relación social a través de la cual se obtienen enunciados y verbalizaciones en una instancia de observación directa y de participación (Guber, 2001).

Ozonas y Pérez señalan que la entrevista es un proceso comunicativo que requiere la participación del entrevistado y del entrevistador para que exista una transmisión de información (Ozonas & Pérez, 2004). Robles señala la importancia de conocer el perfil del entrevistado, como edad, nivel de estudio, sexo, ocupación y estado civil. Ello facilitará conocer las características del entrevistado y así diseñar las estrategias de la entrevista (Robles, 2011).

Según Díaz, existen tres tipos de entrevistas: entrevistas estructuradas o enfocadas, que se aplican en forma sistemática, no permiten cambios; entrevistas semiestructuradas que se caracterizan por tener un grado de flexibilidad, es decir, se pueden adaptar a las condiciones de trabajo de campo, y, finalmente, la entrevista no estructurada que es más informal, muy flexible. (Díaz et al., 2013)

Asimismo, Díaz señala que la entrevista semiestructurada permite un grado de flexibilidad aceptable, por lo cual mantiene uniformidad para alcanzar el objetivo del estudio a través de la interacción entre entrevistador y entrevistado. Recomienda considerar cinco pautas para la ejecución de la entrevista (Díaz et al., 2013). En la figura 29 se muestran las pautas a considerar durante la entrevista.

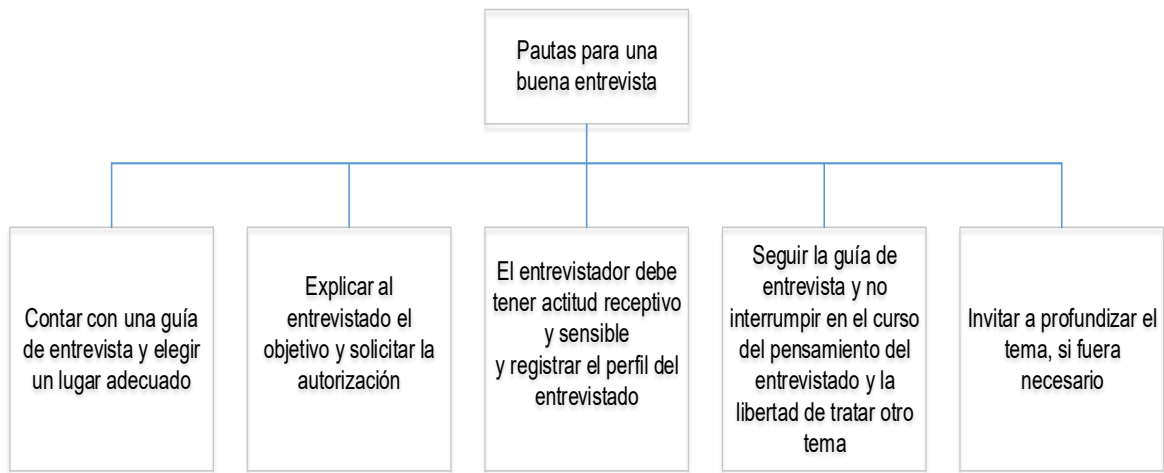


Figura 29. Pautas consideradas para la entrevista semiestructurada (adaptada de Díaz et al., 2013)

Independientemente del tipo de entrevistas que se utilice para un estudio, Díaz señala que las entrevistas tienen cuatro fases.

- a. Primera fase: consiste en la planificación, diseño de las fichas de entrevista y convocatoria.
- b. Segunda fase: consiste en la apertura de la entrevista, estar en el lugar pactado, informar sobre los objetivos y se solicita el consentimiento para grabar, filmar o transcribir sus respuestas a las preguntas.
- c. Tercera fase: es el núcleo de la entrevista, que permite recibir información siguiendo las preguntas con flexibilidad.
- d. Cuarta fase: es la fase del cierre y donde se advierte al entrevistado de la culminación de la entrevista.

En la figura 30 se muestra la secuencia de las fases de la entrevista recomendada por Díaz (2013).

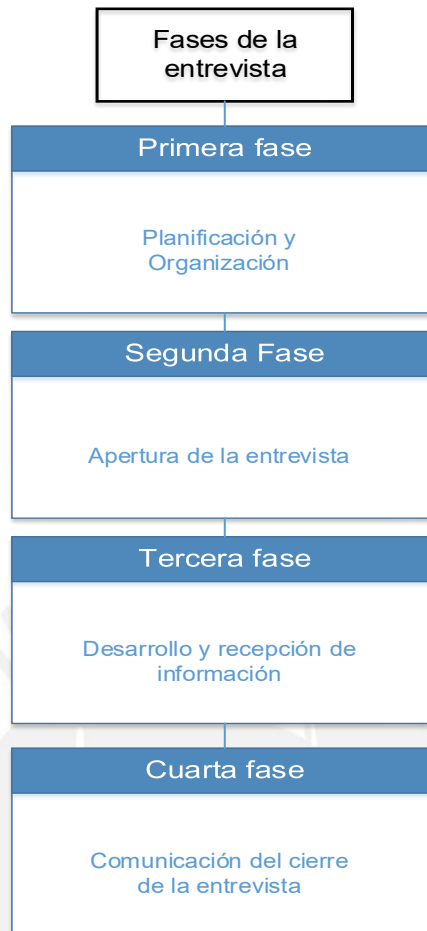


Figura 30. Fases de la entrevista (adaptada de Díaz et al., 2013)

Para la selección del tamaño de muestras se deben tener en cuenta dos criterios. El primero es la disponibilidad del recurso y las necesidades que tenga el análisis de la investigación. El segundo es la lógica y criterio que debe tener el investigador para seleccionar la muestra. (López, 2004) Asimismo, se puede precisar que en la investigación cualitativa no es tan importante el tamaño de la muestra sino que depende de lo se quiera estudiar, es decir, obtener la información precisa, abundante y profunda de cada tema a investigar. El éxito de este tipo de investigación depende de la capacidad del investigador para observar, analizar e interpretar los resultados (López, 2004). Aparte de ello, cuando el nivel investigación es exploratorio se puede abordar el tema a investigar a través de preguntas sencillas (Aguilar, 2005).

La Matta, en su investigación “Percepciones, actores y manejo actual de los humedales altoandinos de la comunidad campesina Santiago de Carampoma, Huarochiri-

Lima”, determina el tamaño de la muestra a través de la siguiente fórmula matemática⁶(La Matta, 2017).

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * (1 - P)}$$

donde:

N= tamaño total de la población

Z= nivel de significancia (1,96; nivel de confianza de 0,95%)

p= proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio

e= error máximo (0,05)

Aguilar señala que esta fórmula sólo se aplica cuando se conoce el total de la población a estudiar, es decir, la población finita (Aguilar, 2005). Sin embargo, López señala que la muestra puede ser el 30% de la población identificada. Este porcentaje es el mínimo recomendado para no caer en la categoría de muestra pequeña (López, 2004).

5.7. Entrevista exploratoria

5.7.1. Primera fase

Se entrevistó el 12 de enero de 2019 a la muestra poblacional seleccionada, y se visitó los siete asentamientos humanos que están circundantes a las estaciones de monitoreo, sin embargo, no todos estuvieron dispuestos a participar en la investigación. A pesar de este inconveniente, se logró realizar la entrevista en tres de los asentamientos humanos. En la figura 31 se muestra la ubicación de estos asentamientos.

⁶ Fórmula matemática propuesta por Desu en su libro *Sample Size Methodology* (Desu & Raghavarao, 1990)



Figura 31. Zonas donde se aplicó la encuesta

La población entrevistada corresponde a tres asentamientos humanos: A.H Huayaringa Centro, A.H Julio C. Tello y A.H Villa Campoy colindantes a las estaciones de monitoreo RM-1, RM-2 y RM-5, respectivamente.

En esta investigación la entrevista tuvo como objetivo indagar sobre el conocimiento en residuos de plástico, participación de la población en programas de reciclaje, intervención de algunas instituciones sobre manejo de residuos, incremento de residuos de plásticos en el cauce del río y finalmente sobre los MPs en río Rímac. Para este fin se elaboró una ficha técnica de entrevista exploratoria que consta de doce preguntas y recoge información sobre el perfil del entrevistado (nivel educativo, ocupación, sexo y edad) (ver la tabla 8).

Tabla 8. Cuestionario de la entrevista para medir la percepción de la población

ENTREVISTADOR:				FECHA:			
DEPARTAMENTO:	LIMA	PROVINCIA:	LIMA	DISTRITO:			
A QUE SE DEDICA				EDAD:		SEXO:	M F
1. ¿Desde qué año vive en la zona?							
2. ¿Ha vivido anteriormente, en otro lugar cercano al río Rímac?							
3. ¿Desde qué año ha podido observar el incremento de la basura (residuos sólidos) en las aguas del río Rímac?							
4. ¿Considera usted que ahora hay mayor cantidad de basura?							
5. ¿Conoce si alguna institución realiza alguna actividad para la limpieza de las aguas?							
6. ¿Cómo dispone usted la basura en su hogar? ¿Sabe cómo hacen sus vecinos?							
7. ¿Realiza algún tipo de acción para reciclar, reducir o reutilizar los plásticos en su hogar?							
8. ¿Sabe cómo puede reciclar, reducir o reutilizar los plásticos?							
9. ¿Conoce alguna institución que realice el reciclado de los plásticos?							
10. ¿Sabe usted qué son los microplásticos?							
11. ¿Sabe si la municipalidad distrital ha realizado algún tipo de acción sobre los microplásticos?							
12. ¿Conoce alguna institución cuyo trabajo involucre capacitación sobre el origen y el manejo de microplásticos?							

La muestra se calcula a través de la siguiente fórmula

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * (1 - p)}$$

donde: N= tamaño total de la población; Z= nivel de significancia (1,96; nivel de confianza de 0,95%); p= proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (0,5); e= error máximo (0,05)

Tabla 9. Tamaño de la muestra poblacional entrevistable

Población	Número de la población identificado el 12 enero 2019	Tamaño de muestra con fórmula para población finita	Tamaño de la muestra, según López debe ser 30% de la población
A. H Villa Campoy	40	36	12
A. H Julio C. Tello	55	48	17
A. H Huaringa Bajo	21	20	6

5.7.2. Segunda fase

Se contó con la participación de dos asistentes para la ejecución de la entrevista. Se inició con la apertura de la entrevista y la firma del “Protocolo de consentimiento informado para participantes” (ver anexo). Con este se informa al participante sobre el alcance de la investigación y su participación. Este proceso es un requerimiento de la Oficina de Ética de la Investigación e Integridad Científica de la PUCP. El modelo se tomó de Murga (2017). Cuando se solicitó la firma de este documento, algunos pobladores no accedieron a participar, por lo que el número de entrevistados fue menor a lo estimado como necesario en cada asentamiento.

5.7.3. Tercera fase

Se inició con la lectura de las preguntas y registro de la información en base a la ficha técnica de entrevista. En el contenido de la ficha, en lo posible, se ha utilizado términos sencillos para que la población pueda entender las preguntas.

El número total de entrevistados fue 21 personas; 6 personas corresponden al asentamiento humano Huayaringa Centro, ubicado en la margen derecha del río Rímac a 420 metros del puente Ricardo Palma, 8 personas de asentamiento humano Julio C. Tello, ubicado en la margen derecha del río Santa Eulalia, ambos asentamientos

pertenecen al distrito de Santa Eulalia y finalmente 7 personas del asentamiento humano Villa Campoy, ubicado en el margen derecho de quebrada Huaycoloro, pertenece al distrito de Lurigancho. Los detalles se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Población entrevistada y perfil del entrevistado

Asentamientos Humanos	Número de entrevistados	Distrito	Edad (años)	Sexo (M, F)	Ocupación
A.H Huayaringa Centro	6	Santa Eulalia	18	M	Estudiante universitario
			75	M	Trasportista
			32	F	Ama de casa
			31	F	Ama de casa
			35	F	Ama de casa
			45	F	Administrador
A.H Julio C. Tello	8	Santa Eulalia	32	F	Estudiante técnico
			64	F	Ama de casa
			40	F	Negociante
			26	M	Trabajador eventual
			47	F	Trabajador eventual
			19	F	Estudiante universitario
			45	F	Ama de casa
55	M	Trabajador municipal			
A.H Villa Campoy	7	San Juan de Lurigancho	34	F	Profesora de colegio
			60	F	Ama de casa
			35	F	Estudiante técnico
			68	M	Confeccionista
			44	F	Ama de casa
			80	M	Jubilado
			47	F	Ama de casa

M: masculino

F: femenino

6. RESULTADOS

6.1. Número de microplásticos

Los resultados del muestreo y la caracterización preliminar de los MPs recolectados se presentan en la Tabla 11.



Tabla 11. Número de microplásticos identificados según su apariencia en las estaciones de monitoreo

Estación	Sub muestras	noviembre 2017- época avenida					agosto 2018 – época estiaje				
		película	filamento	fragmento	esférula	total	película	filamento	fragmento	esférula	total
RM-1	A	0	5	0	0	5	2	4	1	0	7
	B	1	4	0	0	5	2	3	1	0	6
RM-2	A	1	0	0	0	1	3	9	0	0	12
	B	1	0	0	0	1	1	3	2	0	6
RM-3	A	0	0	0	0	0	5	5	2	0	12
	B	0	0	0	0	0	1	2	2	0	5
RM-4	A	5	5	1	0	11	3	2	1	0	6
	B	0	0	0	0	0	17	2	540	0	559
RM-5	A	1	0	10	0	11	33	5	1305	57	1400
	B	2	0	2	0	4	11	12	304	0	327
RM-6	A	4	2	1	0	7	0	2	6	0	8
	B	6	1	3	0	10	0	19	3	0	22
RM-7	A	10	0	3	0	13	77	19	7	0	103
	B	1	3	18	7	29	12	14	483	0	509
Total		32	20	38	7	97	167	101	2657	57	2982

A: aguas arriba de las estaciones de monitoreo; B: aguas abajo de las estaciones de monitoreo

En la tabla 11 se muestran los registros de MPs totales correspondiente a noviembre 2017 y agosto 2018. El máximo registro fue de 13 MPs (A) y 29 MPs (B) en la estación RM-7 cerca al puente la Libertad, distrito El Agustino, y no se detectaron MPs en la estación RM-3 cerca al puente Los Ángeles, distrito Chaclacayo. Mientras, en la época de estiaje correspondiente al mes de agosto de 2018 el máximo registro fue de 1400 MPs (A) y 327 MPs (B) en la estación RM-5 en la quebrada Huaycoloro, distrito San Juan de Lurigancho, y el mínimo fue de 7 MPs (A) y 6 MPs (B) en la estación RM-1 cerca al puente Ricardo Palma. En la figura 32 se muestra la distribución de los MPs por estación de monitoreo.



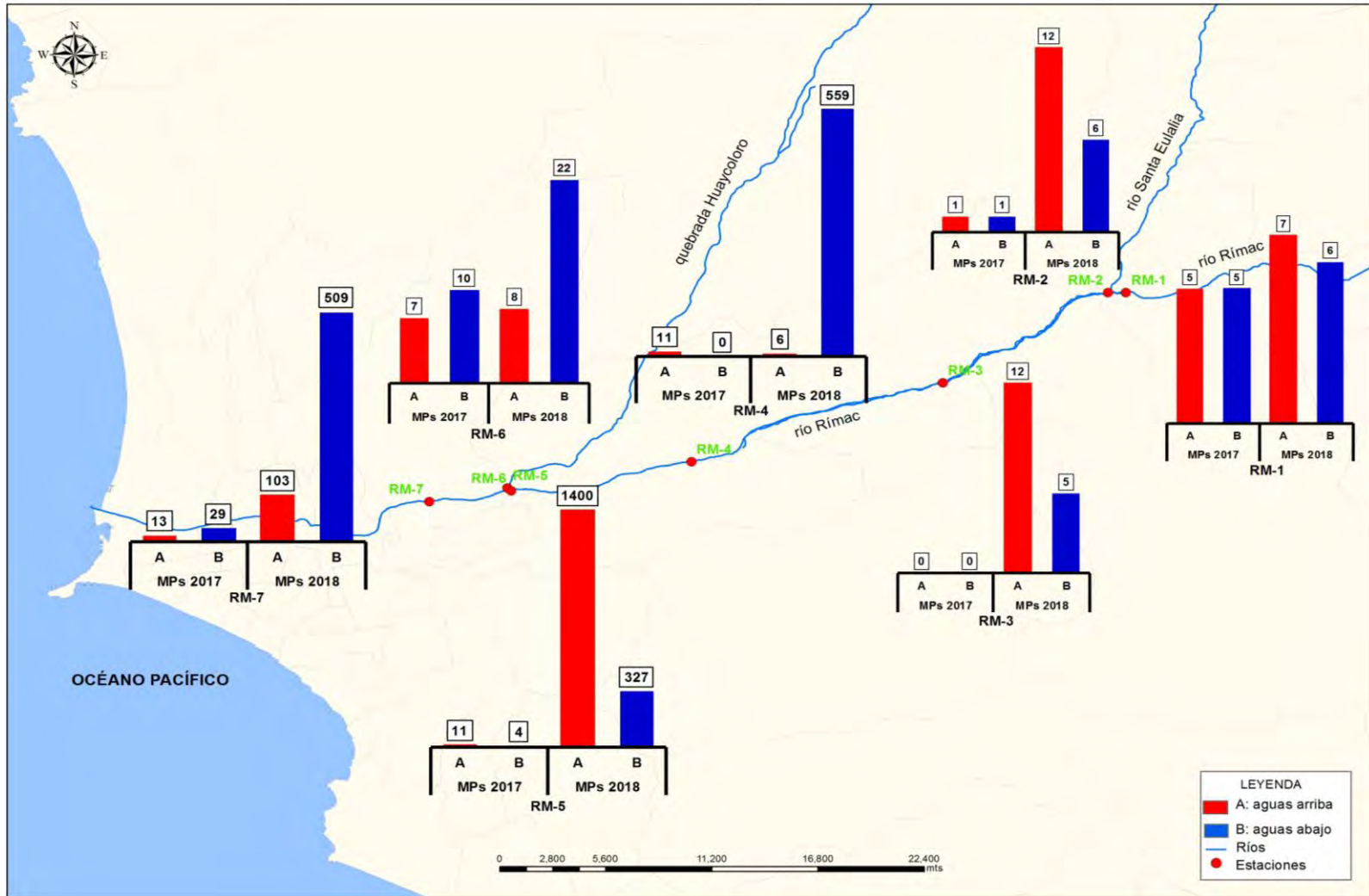


Figura 32. Registro de número de microplásticos en las estaciones de monitoreo durante noviembre de 2017 y agosto de 2018

6.2. Formas, tamaño y color de microplásticos

6.2.1. Formas de microplásticos

Los MPs registrados tienen diversos colores, formas y tamaños. Se han identificado 38 MPs de tipo fragmento que representan 39,2%; 32 MPs de tipo película que representan 33 %; 20 MPs de tipo filamento que representan 20,6%; y 7 MPs de tipo esférulas que representan 7,2%. Las diferentes formas de los MPs están asociadas a las fuentes secundarias, es decir, a la degradación físicoquímica de plásticos mayores. En la época de estiaje se han identificado 2657 MPs tipo fragmento que representan 89,1%; 167 MPs tipo película que representan 5,6 %; 101 MPs tipo filamento que representan 3,39%; y 57 MPs tipo esférulas que representan 1,9%. En la figura 33 se muestra la frecuencia de aparición de las formas de los MPs.

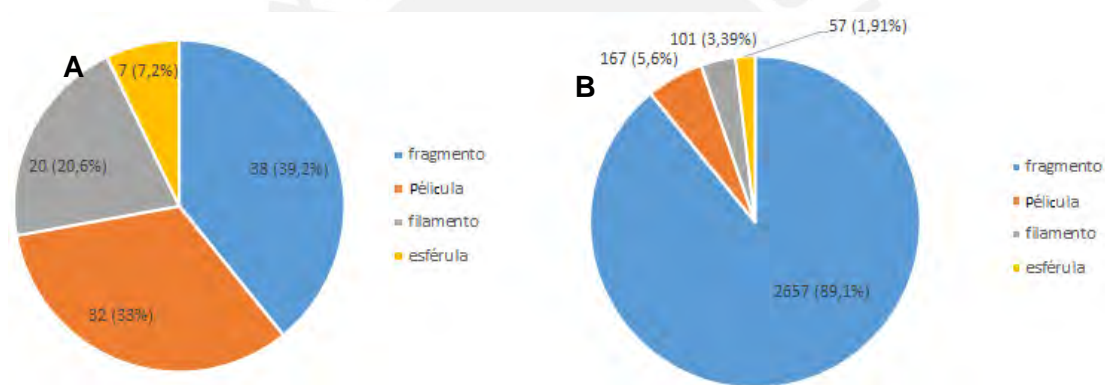


Figura 33. Forma de microplásticos. En la imagen A se muestra los resultados a la época de avenida (noviembre 2017) y la imagen B muestra los resultados de la época de estiaje (agosto 2018)

6.2.2. Tamaño de microplásticos

Con la ayuda del software libre ImageJ se midió el tamaño de los MPs clasificados en cuatro grupos. El primer grupo de tamaño 0,063 - 0,1 mm; el segundo grupo de tamaño 0,1 - 1,0 mm; tercer grupo de tamaño 1,0 - 2,5 mm y, finalmente, el cuarto grupo de tamaño 2,5 - 5,0 mm (ver tabla 12)

Tabla 12. Tamaño de microplásticos

Grupos	MPs Noviembre de 2017	MPs Agosto de 2018
0,063 - 0,1 mm	0	364
0,1 - 1,0 mm	35	1 366
1,0 - 2,5 mm	42	966
2,5 - 5,0	20	286

El tamaño promedio de MP es 1,64 mm; el máximo tamaño es 4,86 mm; el mínimo tamaño es 0,15 mm la época de avenida y mientras en época de estiaje el máximo tamaño es 4,70 mm; el mínimo tamaño es 0,063 mm; el tamaño promedio de MPs es 1,03 mm (ver tabla 13).

Tabla 13. Máximos, mínimo y promedio de microplásticos

Grupos	MPs Noviembre de 2017		MPs Agosto de 2018	
	Tamaño	Estación	Tamaño	Estación
Máximo	4,86 mm	RM-6	4,70 mm	RM-5
Mínimo	0,15 mm	RM-7	0,063 mm	RM-7
Promedio	1,64 mm	-	1,03 mm	-

La mayor cantidad de MP se encuentran en el segundo grupo 0,1 a 1,0 mm con 1366 que representa 45,8% del total. En la figura 34 se muestra el número de MP de acuerdo al tamaño.

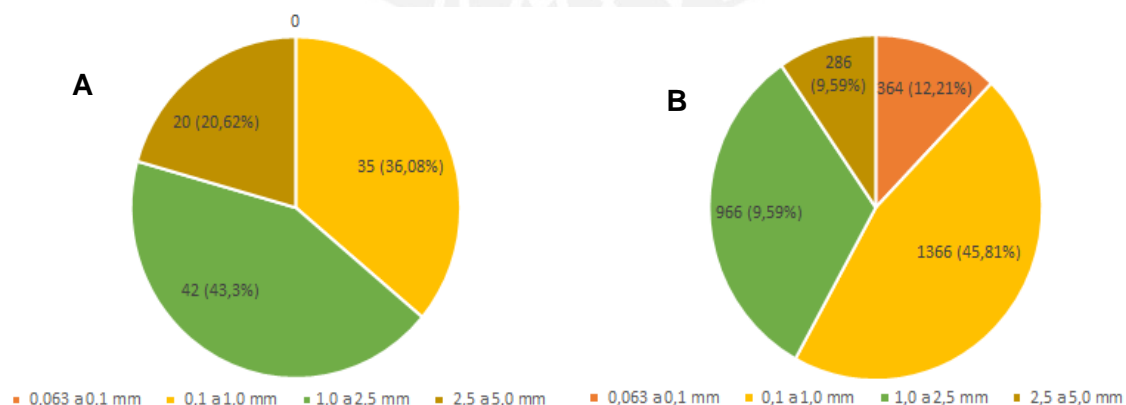


Figura 34. Tamaño de microplásticos. En la imagen **A** se muestra la cantidad de MP de acuerdo al tamaño que corresponde a noviembre de 2017 y la imagen **B** que corresponde a agosto 2018

Con el estereoscopio Leica M80 se han identificado los MPs y medido el tamaño mediante el software ImageJ de libre disponibilidad⁷.

El tamaño de MP registrados se encuentra el rango de 0,15 mm a 4,5 mm. A continuación, se muestran los registros fotográficos de los MPs en la época de avenida. En la figura 35 se muestran las formas de MPs en a), b), y c) películas y d) fragmento.

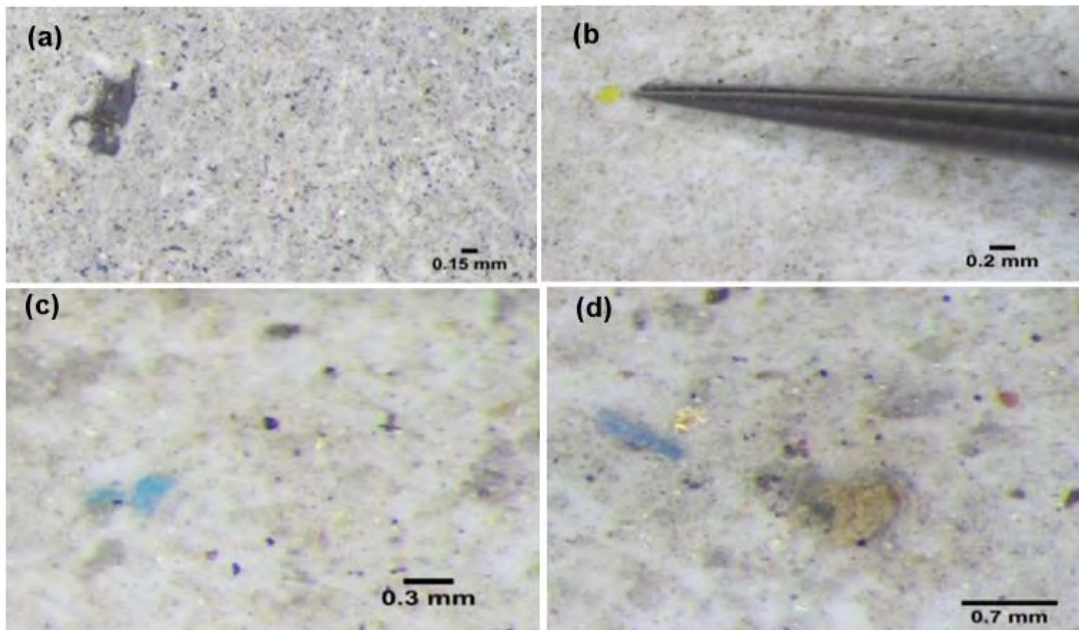


Figura 35. Registros fotografías de MP, 0,15 a 0,7 mm – época de avenida (noviembre 2017)

⁷ <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

En la figura 36 se muestran las formas de MPs: a) esférula, b) filamentos, c) fragmentos de poliestireno y d) filamentos.

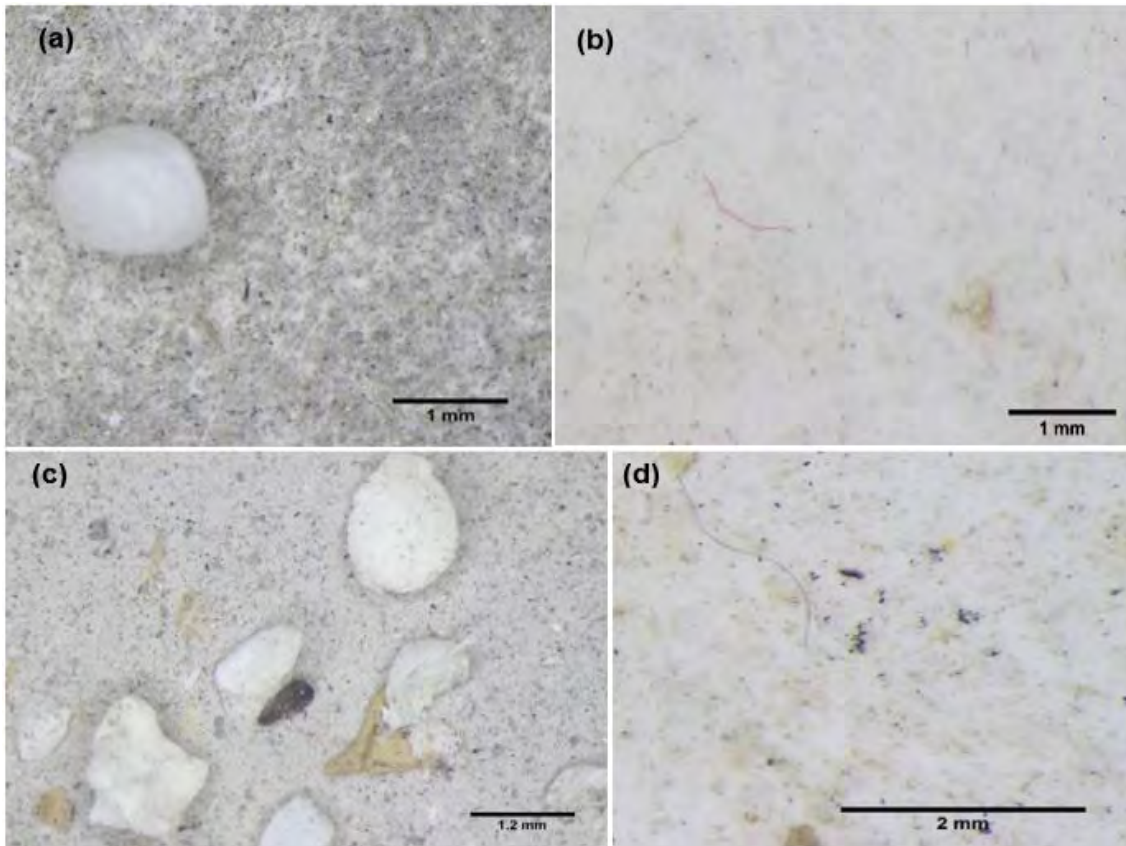


Figura 36. Registros fotografías MP, 1 mm a 2 mm - época de avenida (noviembre 2017)

En la figura 37 se muestran las formas de MPs: a) fragmento y b) fragmento, filamento.

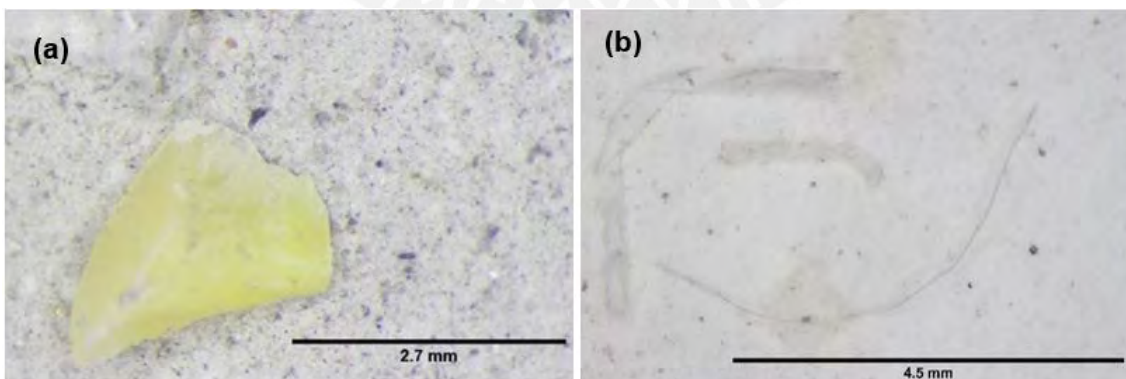


Figura 37. Registros fotografías MP, 2.7 mm a 4.5 mm - época de avenida (noviembre 2017)

A continuación, se muestra el tamaño de los MPs registrados cuyo tamaño se encuentra 0,063 mm a 4,7 mm correspondiente a época de avenida. En la figura 38 se muestra los MPs tipo fragmento.

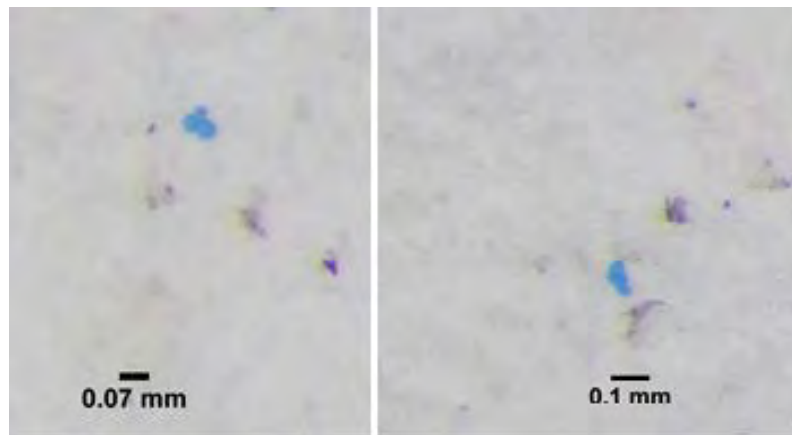


Figura 38. Registros fotografías de MP- 0,07 a 0,1 mm - época de estiaje (agosto 2018)

En la figura 39 se muestran las formas de MPs: films y fragmentos. Los colores de MPs son diversos tal como muestra la imagen.

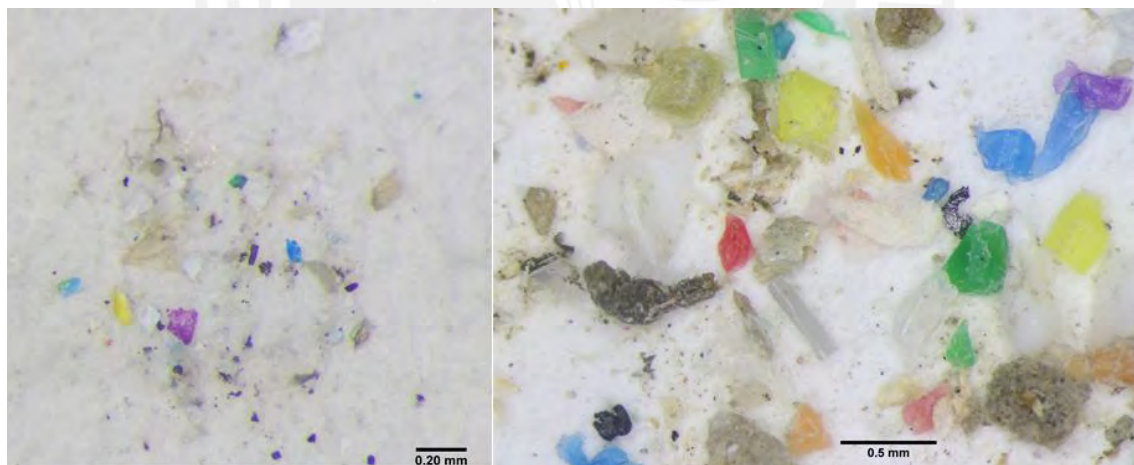


Figura 39. Registros fotografías MP, 0,2 mm a 0,5 mm - época de estiaje (agosto 2018)

En la figura 40 se muestran las formas de MPs: filamento, fragmento y filamento

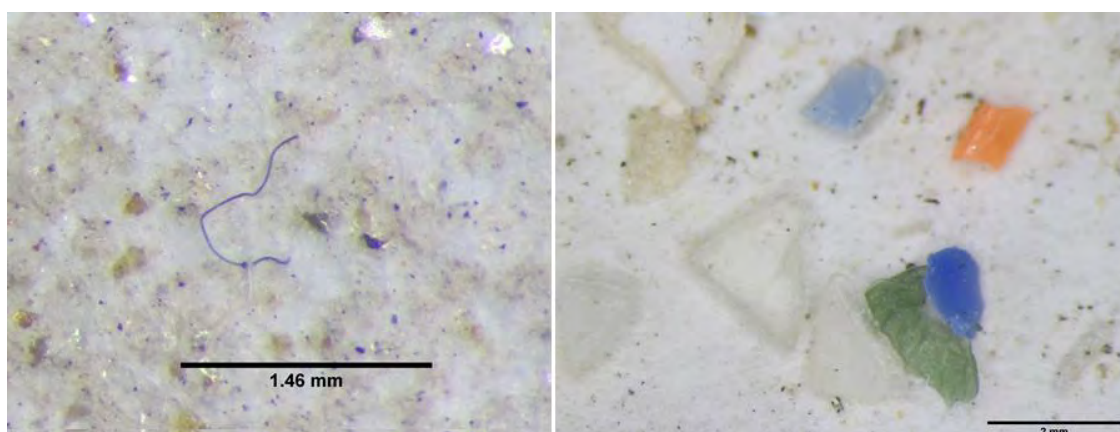


Figura 40. Registros fotografías MP, 1,46 mm a 2,0 mm - época de estiaje (agosto 2018)

En la figura 41 se muestran las formas de MPs: fragmento y filamento con tamaños de 2,5 mm y 1,1 respectivamente.

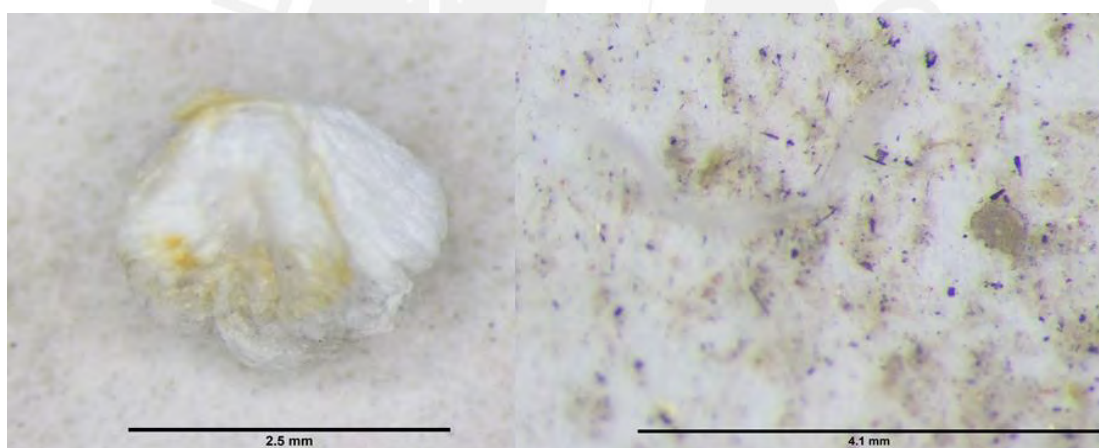


Figura 41. Registros fotografías MP, 2,5 mm a 4,1 mm - época de estiaje (agosto 2018)

6.2.3. Color de microplásticos

Los microplásticos registrados tienen diversos colores. En el muestreo de noviembre 2017, el color blanco es el predominante con 56 %; seguido de color negro con 26%. El color amarillo representa 5%; el color azul representa 3% y el celeste 2% mientras en el muestreo de diciembre 2018; el color blanco representa 75%, el color negro 12%, el color amarillo 4%, el color azul 3%, el color celeste 3% y otros 3%. En la figura 42 se muestra la distribución porcentual del color de MPs.

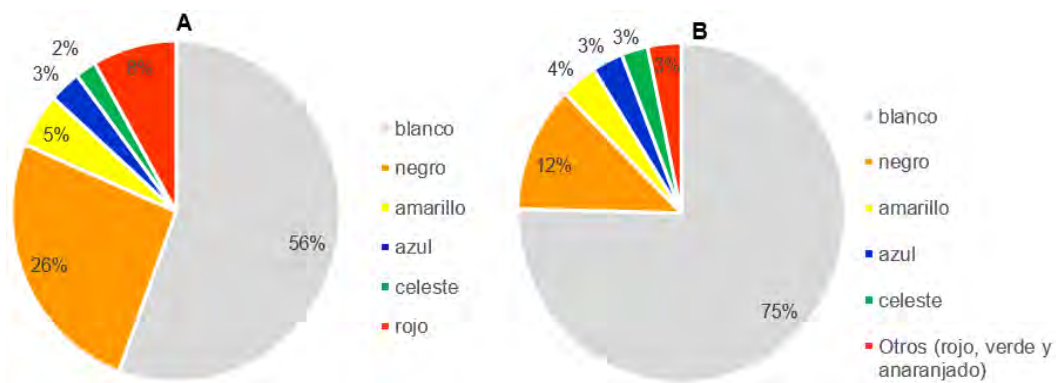


Figura 42. Color de los microplásticos. En la imagen A se muestra el porcentaje de los colores de MPs que corresponde a noviembre y la imagen B que corresponde a agosto 2018

En la tabla 14 se muestra el número de MPs según su color. Se han identificado 54 MPs de color blanco, 25 MPs de color negro, 8 MPs de color rojo, 5 MPs de color amarillo, 3 MPs de color azul y 2 MPs de color celeste mientras en el muestreo de diciembre 2018; se han identificado 2248 MPs de color blanco, 359 MPs de color negro, 107 MPs de color amarillo, 91 MPs de color azul, 78 MPs de color celeste y 99 MPs conformados por color rojo, verde, anaranjado.

Tabla 14. Color de microplásticos

Noviembre 2017			Diciembre 2018		
Color de MPs	Número	Porcentaje	Color de MPs	Número	Porcentaje
blanco	54	56	blanco	2248	75
negro	25	26	negro	359	12
amarillo	5	5	amarillo	107	4
azul	3	3	azul	91	3
celeste	2	2	celeste	78	3
rojo	8	8	Otros (rojo, verde y anaranjado)	99	3
Total	97	100	Total	2982	100

6.3. Identificación de polímeros presentes en microplásticos

Se obtuvo los espectros de los siguientes polímeros PVC, PET, PP, PS, PMMA, LDPE usando un Espectrómetro Frontier (FT-IR). En la figura 43 se muestran los espectros obtenidos.

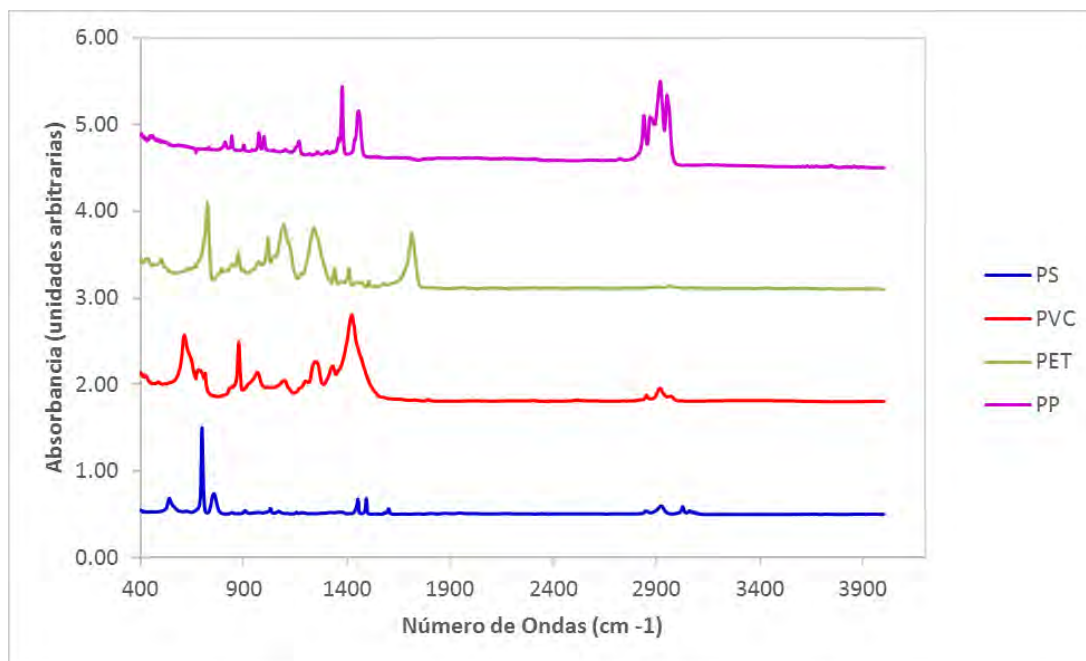


Figura 43. Espectros de referencia de polímeros de interés

Antes de la identificación de los MPs con el FT-IR se han juntado los resultados de A y B de cada estación de monitoreo para un mejor manejo de MPs aislados.

Para la identificación de los MPs aislados se han seleccionado las partículas al azar y luego analizado mediante espectrómetro Frontier (FT-IR). Los MPs identificados en la época de avenida corresponden 1 PET en la estación RM-1; 1 PP en la estación RM-2; 2 PP y 1 PET en la estación RM-4; 9 PS en la estación RM-5; 7 PP en la estación RM-6; 10 PS en la estación RM-7. Mientras en la época de estiaje se ha identificado 3 PP en la estación RM-1; 1 PP en la estación RM-2; 2 PP en las estaciones RM-3, RM-4 y RM-7; 5 PP y 19 PS en la estación RM-5; y 2 PP y 1 PET en la estación RM-6. Las partículas inferiores a 0,5 mm han dificultado la caracterización por FTIR debido a su difícil manipulación. En la tabla 15 se resumen los polímeros identificados en cada estación.

Tabla 15. Polímeros identificados en la época de avenida - noviembre 2017 y estiaje – agosto 2018

Estaciones	Polímeros identificados - noviembre 2017							Polímeros identificados - agosto 2018						
	Número de MPs	MPs seleccionados al azar	PP	PS	PET	PVC	No Identificados	Número de MPs	MPs seleccionados al azar	PP	PS	PET	PVC	No Identificados
RM-1	10	5	0	0	1	0	4	13	4	3	0	0	0	1
RM-2	2	1	1	0	0	0	0	18	4	1	0	0	0	3
RM-3	--	--	--	--	--	--	--	17	7	2	0	0	0	5
RM-4	11	5	2	0	1	0	2	565	4	2	0	0	0	2
RM-5	15	15	3	9	0	0	3	1727	42	5	19	0	0	18
RM-6	17	17	7	0	0	0	10	30	5	2	0	1	0	2
RM-7	42	28	0	10	0	0	18	612	20	2	0	0	0	18
Total	97	71	13	19	2	0	37	2982	86	17	19	1	0	49

Se ha identificado 71 polímeros en la época de avenida de los cuales 19 partículas de PS que representa 26,8% del total; 13 partículas de PP; 2 partículas de PET; y 37 partículas de otros polímeros (PMMA y LDPE) que no se encuentran como parte de la presente investigación. En la época de estiaje se han identificados 86 polímeros de los cuales 19 partículas de PS que representa 22,1% del total; 17 partículas de PP; 1 partículas de PET; y 49 partículas de otros polímeros (PMMA y LDPE) (ver figura 44).

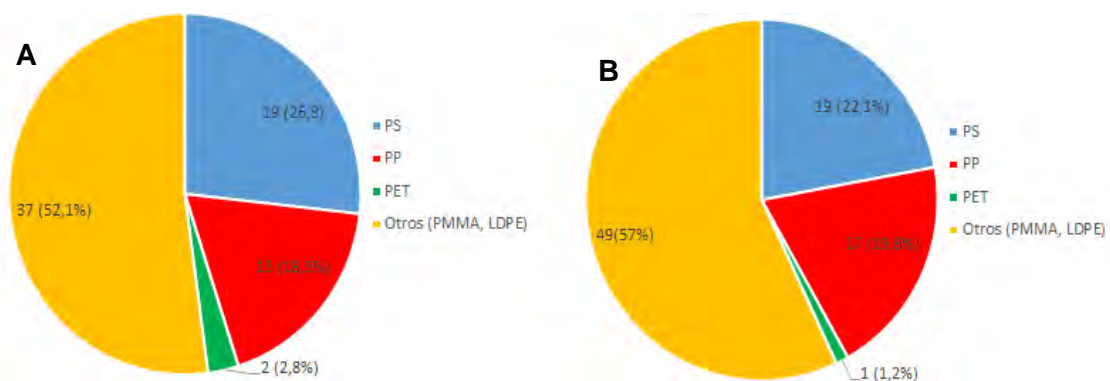


Figura 44. Polímeros identificados en ambas campañas. En la imagen **A** se muestra polímeros identificados a época de avenida y en la imagen **B** corresponde a polímeros identificados a la época de estiaje.

En la figura 45 se muestra los espectros FTIR de PS, PP y PET comparados con el espectro obtenidos de plásticos comercialmente disponibles.

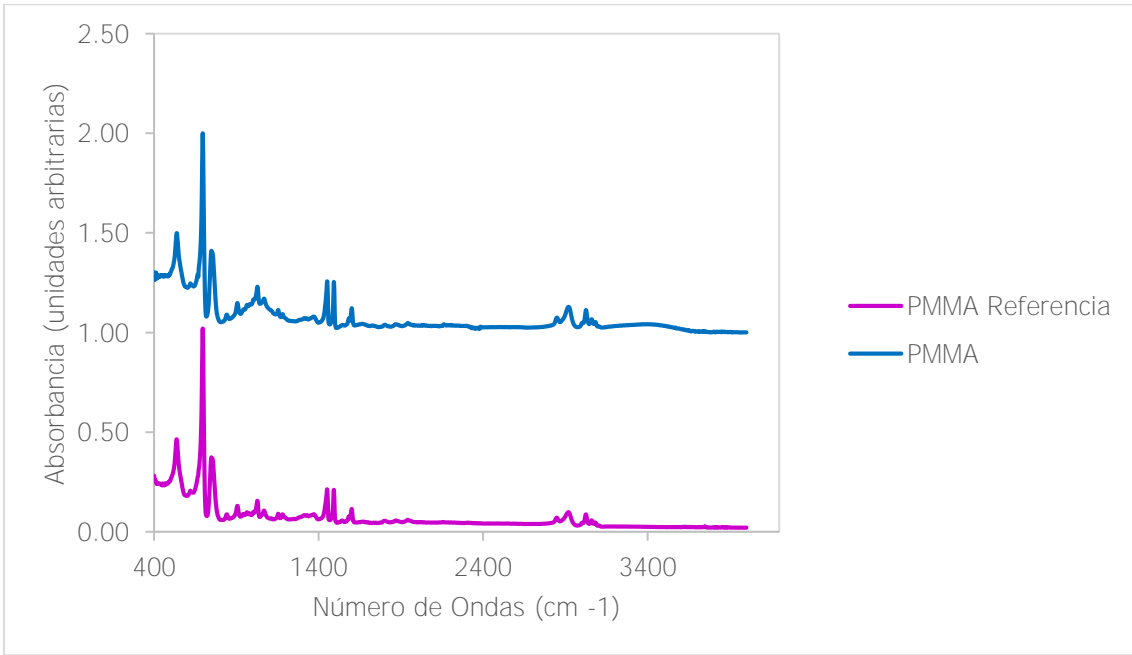


Figura 46. Espectros FTIR de PMMA

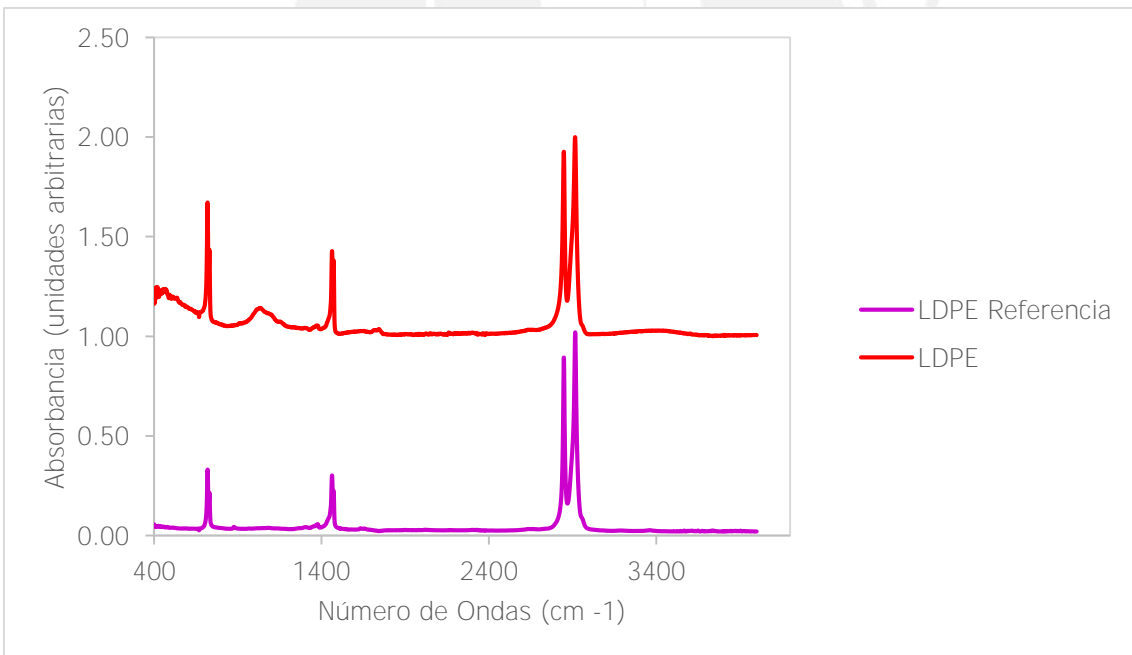


Figura 47. Espectros FTIR de LDPE

6.4. Resultados de la entrevista exploratoria

La entrevista exploratoria se ejecutó el 2 de febrero de 2019, previo trabajo de campo piloto. La percepción de la población sobre los residuos sólidos y los MPs son variados de acuerdo al conocimiento con que cuentan sobre los temas a preguntar. Sin embargo, a la pregunta ¿Sabe si la municipalidad distrital ha realizado algún tipo de acción sobre los MPs?; respondieron los 21 entrevistados que la municipalidad distrital no ha realizado ninguna actividad sobre los MPs. Asimismo, a la pregunta ¿Conoce alguna Institución cuyo trabajo involucre capacitación sobre el origen y el manejo de MPs?; 21 entrevistados respondieron que no conocen ninguna institución que haya realizado capacitaciones sobre los MPs. En base a las dos preguntas se puede deducir que ni los asentamientos humanos; ni la municipalidad u otras instituciones no han realizado alguna actividad relacionadas a la mitigación de los MPs (ver la figura 48).

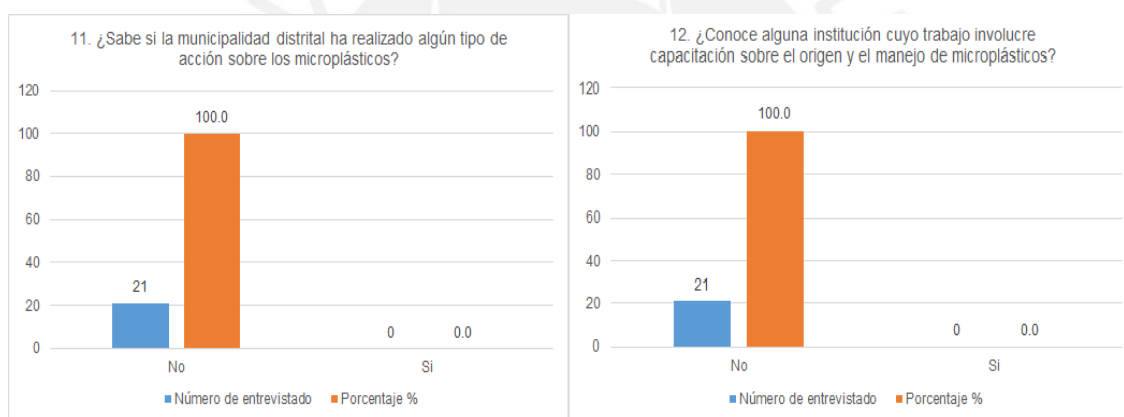


Figura 48. Respuestas a las preguntas 11, 12.

El resultado de la pregunta 2 ¿Ha vivido anteriormente, en otro lugar cercano al río Rímac?; 85,7% de los entrevistados nunca han vivido cerca al río Rímac, 4,8% ha radicado siempre circundante al río Rímac (ver tabla 16).

Tabla 16. Resultado de la pregunta 2

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
No	18	85,7
San Martin	1	4,8
quebrada Huaycoloro	1	4,8
Moyopampa	1	4,8

Asimismo, a la pregunta 3 ¿Desde qué año ha podido observar el incremento de la basura (residuos sólidos) en las aguas del río Rímac? a lo que 47,0% de los entrevistados no recuerda desde que año se inició el incremento de residuos sólidos en los cauces del río. El resto de los entrevistados considera que a partir de los años 1990 hacia adelante se ha incrementado la presencia de los residuos sólidos en el río Rímac (ver tabla 17).

Tabla 17. Resultado de la pregunta 3

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
No, recuerda el año	10	47,6
2011 a 2018	5	23,8
1990 a 2000	3	14,3
2001 a 2010	2	9,5
1987	1	4,8

El resultado de la pregunta 4 ¿Considera usted que ahora hay mayor cantidad de basura?; la percepción es heterogénea, 51,1 % de los entrevistados considera que se incrementado los residuos sólidos en el río Rímac, 28,6% considera que ha disminuido y 14,3% considera que sigue igual (ver tabla 18).

Tabla 18. Resultado de la pregunta 4

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
Ha aumentado	12	57,1
Ha disminuido	6	28,6
Sigue igual	3	14,3

Asimismo, a la pregunta 5 ¿Conoce si alguna institución realiza alguna actividad para la limpieza de las aguas?; 85,7% de los entrevistados señala que ninguna Institución realiza limpieza de las aguas del río Rímac, 9,5% afirma que la Municipalidad realiza la limpieza, específicamente la municipalidad de San Juan de Lurigancho y 4,8% considera que SEDAPAL realiza la limpieza. Según las observaciones realizadas en las diferentes visitas a campo, el trabajo que realizan estas instituciones es la limpieza en general en temporada de crecida del río Rímac, para evitar el desborde de las aguas del río (ver tabla 19).

Tabla 19. Resultado de la pregunta 5

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
No	18	85,7
Municipalidades	2	9,5
SEDAPAL	1	4,8

El resultado de la pregunta 6 ¿Cómo dispone usted la basura en su hogar? ¿Sabe cómo hacen sus vecinos?; 42,9 % de los entrevistados señala que separa los residuos en bolsas y entregar al camión recolector, 38,1% indica que entrega al camión recolector, pero no especifica como maneja los residuos sólidos y 19,0% señala que separan los residuos en tachos y/o bolsas; además manifiestan que algunos vecinos botan al río. Durante las visitas de campo se ha verificado que algunos pobladores arrojan los residuos al río (ver tabla 20).

Tabla 20. Resultado de la pregunta 6

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
Separar los residuos en bolsas y entregar al camión recolector	9	42,9
Entregan al camión recolector	8	38,1
Separan los residuos en tachos y/o bolsas; además manifiestan que algunos vecinos botan al río	4	19,0

Asimismo, a la pregunta 7 ¿Realiza algún tipo de acción para reciclar, reducir o reutilizar los plásticos en su hogar?; 90,0% de los entrevistados señala que realiza la separación de los plásticos y luego vende, 4,8% señala que separa los plásticos y no comprar agua embotellada y 4,8% afirma que no realiza ninguna acción de reciclaje. En relación a la pregunta 7, según los resultados la población si realiza alguna acciona para reciclar. El cual es un buen indicador de hábitos responsables como consumidor (ver tabla 21).

Tabla 21. Resultado de la pregunta 7

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
Si, separar los plásticos	19	90,5
No	1	4,8
Si, separar los plásticos y no comprar agua embotellada	1	4,8

El resultado de la pregunta 8 ¿Sabe cómo puede reciclar, reducir o reutilizar los plásticos?; 71,4 % de los entrevistados señalaron que separa los residuos en bolsas, 28,6% indica que no conoce la forma correcta de reciclaje (ver tabla 22).

Tabla 22. Resultado de la pregunta 8

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
Si, sepra en bolsas	15	71,4
No	6	28,6

Asimismo, a la pregunta 9 ¿Conoce alguna institución que realice el reciclado de los plásticos?, 95,2% de los entrevistados señala que no conoce ninguna Institución que realiza reciclaje, y 4,8% afirma que La casa hogar San Pedro realiza reciclaje ubicado en la zona de Ricardo Palma (ver tabla 23).

Tabla 23. Resultado de la pregunta 9

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
No	20	95,2
Si, casa hogar San Pedro	1	4,8

El resultado de la pregunta 10 ¿Sabe usted qué son los MPs?, 90,4% de los entrevistados indica que no conoce sobre los MPs, 4,8% señala que son partículas pequeñas y 4,8% señala que son materias primas para fabricar otros productos (ver tabla 24).

Tabla 24. Resultado de la pregunta 10

Respuestas	Número de entrevistado	Porcentaje %
No	19	90,5
Si, partículas pequeñas	1	4,8
Si, materia prima	1	4,8

6.5. Identificación de fuentes de microplásticos

Durante los trabajos de campo en noviembre 2017 y agosto 2018, se han identificado las fuentes de contaminantes de residuos sólidos, efluentes de origen doméstico e industriales. En la figura 49 se muestra la descarga de efluentes domésticos al cauce del río provenientes de las viviendas aledañas en la estación RM-2.

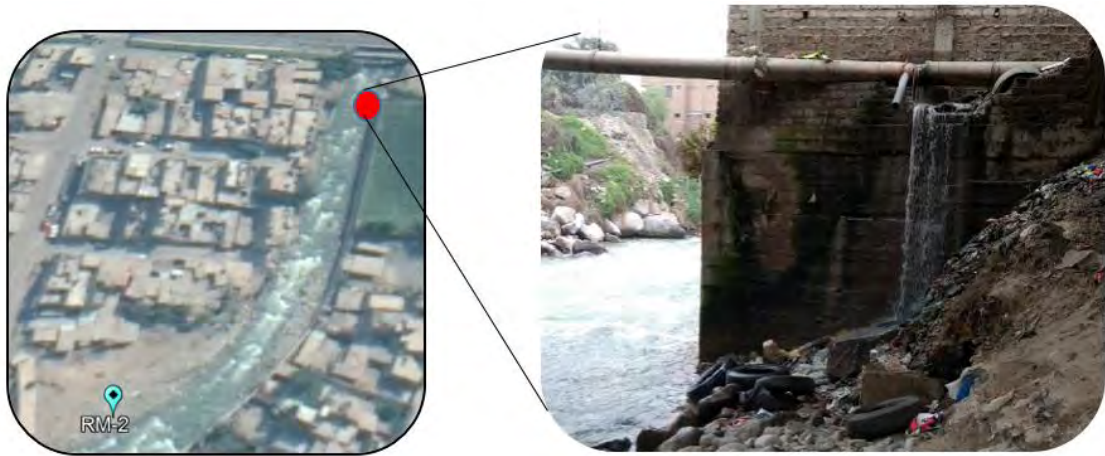


Figura 49. Descarga efluentes domésticos, estación RM-2

Fuente: Propia, 2017 y 2018.

En la figura 50 se muestra la descarga de efluentes domésticos al cauce del río provenientes de las viviendas aledañas en la estación RM-3 a través de dos tuberías.

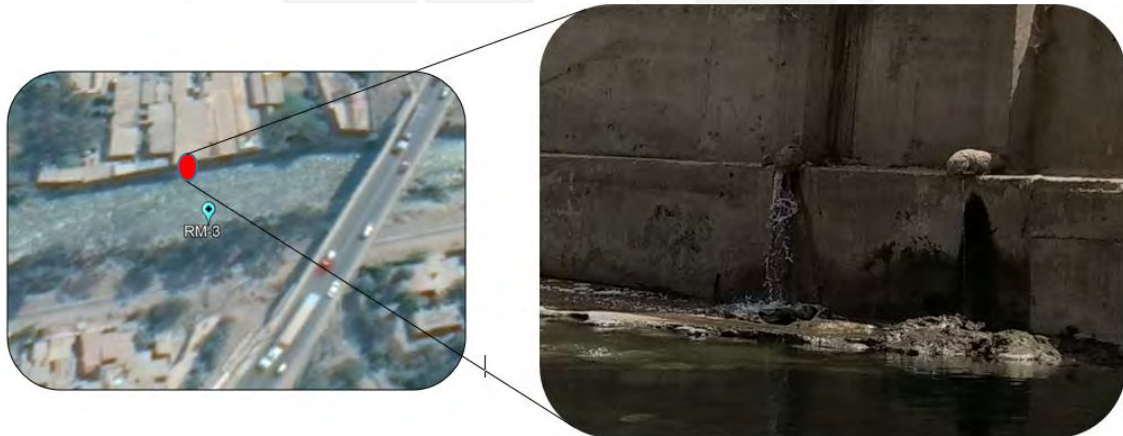


Figura 50. Descarga efluentes domésticos, estación RM-3

Fuente: Propia, 2017 y 2018.

En la figura 51 se muestra la descarga de efluentes al cauce del río Rímac ubicado en las estaciones RM-5. Se encuentra cerca al puente Huaycoloro.



Figura 51. Descarga de efluentes al cauce del río
Fuente: Propia, 2017 y 2018.

En la figura 52 se muestra la descarga de efluentes industrial al cauce del río Rímac ubicado en las estaciones RM-7.



Figura 52. Descarga de efluentes al cauce del río
Fuente: Propia, 2017 y 2018.

En la figura 53 se evidencia residuos sólidos en el cauce del río. Se observa la presencia de plásticos. Ubicado en la estación RM-4.



Figura 53. Residuos sólidos en el cauce del río

Fuente: Propia, 2017 y 2018.

En la figura 54 se evidencia residuos sólidos sobre el agua superficial. Esta ubicado en la estación RM-6.



Figura 54. Residuos sólidos en el cauce del río

Fuente: Propia, 2017 y 2018.

La figura 55 muestra las actividades de lavado de ropa y vehículos en el río ubicado en el puente Foncodes cerca de la estación de monitoreo RM-4. La población asentada cerca al cauce del río tiene acceso en época de estiaje a la zona de playa fluvial.



Figura 55. Actividades de lavado de ropa y vehículos

Fuente: Propia, 2017 y 2018.



7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Sobre la metodología empleada

La metodología adaptada de la NOAA para el análisis de microplásticos en sedimentos ha facilitado la recuperación y la identificación de los MPs en sedimentos laterales del río Rímac. El primer cambio fue el uso de cloruro de sodio con una pureza de 99,00 % para la fase de separación por densidad. En la metodología de la NOAA, para esta fase, se utiliza el metatungstato de litio (Masura et al., 2015), más caro y de acceso restringido. El segundo cambio consistió en el uso de una bomba de vacío para la recuperación de MP, mientras que en la metodología de la NOAA se realiza manualmente (Masura et al., 2015). En base a la experiencia obtenida, se puede afirmar que esta metodología modificada se puede aplicar para el análisis de MP en sedimentos laterales en los ríos, lagos, lagunas del Perú.

Según Zbyszewsky, la línea de muestreo puede ser de 60 m, con un intervalo de muestreo es cada 10 metros (Maclej Zbyszewski & Corcoran, 2011). Sin embargo, las distancias pueden variar de acuerdo a las características de la zona de estudio (Klein et al., 2015). En esta investigación se utilizó la línea de muestreo con intervalo de 8 metros y a una distancia de 2 metros, medidos desde la orilla río. La cantidad de muestras a tomar en cada sitio debe ser triplicado para garantizar buenos resultados (Klein, 2015). Para el presente estudio solo se consideró 2 muestras por estación, debido a que el análisis MP requiere mayor tiempo en todo el proceso de identificación de MPs. La decisión tomada no ha afectado el objetivo del estudio, ya que sí se llegó a identificar los MPs en los sedimentos laterales del río Rímac.

En la presente investigación no se ha realizado el análisis de control de calidad con blancos para evitar la contaminación durante el muestreo y análisis tal como indican Klein et al., (2018). Sin embargo, se ha tenido todos los cuidados en el transporte y análisis de MP en el laboratorio. Se ha realizado el lavado los materiales, el enjuague con agua destilada y secado.

7.2. Presencia de microplásticos en sedimentos laterales

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman la presencia de MP en los ecosistemas de agua dulce, específicamente en el río Rímac. Estos resultados obtenidos son alarmantes y preocupantes para la salud de las personas y el ecosistema acuático de agua dulce debido a que podrían ser consumidos los MPs por las especies

acuáticas propias del río e ingresar a la cadena trófica. Sin embargo, para determinar los impactos en la salud de las personas es necesario realizar estudios más detallados.

La cantidad de MP en la época de avenida es 538,9 MP/m², con registro máximo de 233,3 MP/m² en la estación RM-7 y con registro 0 en la estación en la estación RM-3 mientras en la época de estiaje la cantidad de MPs es 16 566,7 MP/m², con registro máximo de 9 594,4 MP/m² en la estación en la estación RM-5 y con registro mínimo de 72,2 MP/m². En la figura 56 se muestra la variabilidad de registro de MPs.

Los registros de MP en época de avenida son menores en relación a la época de estiaje y podría relacionarse con variabilidad climática y las altas precipitaciones como señala Crawford en su estudio Técnicas de Colección de Microplásticos (Crawford & Quinn, 2017a). Asimismo, se puede relacionar con algún evento extremo ocurrido, en este caso como El Niño Costero, el cual sucedió en marzo del 2017 donde el caudal registrado fue de 69,80% superior sobre el caudal histórico (74,55 m³/s) en la estación Santa Eulalia. Es decir, los grandes volúmenes de agua pudieron remover y trasladar los MPs hacia el mar. Mientras en la época de estiaje se ha registrado mayor número de MPs en cada una de las estaciones de evaluaciones por la influencia de descarga de efluentes en especial en las estaciones RM-5 y RM-7.

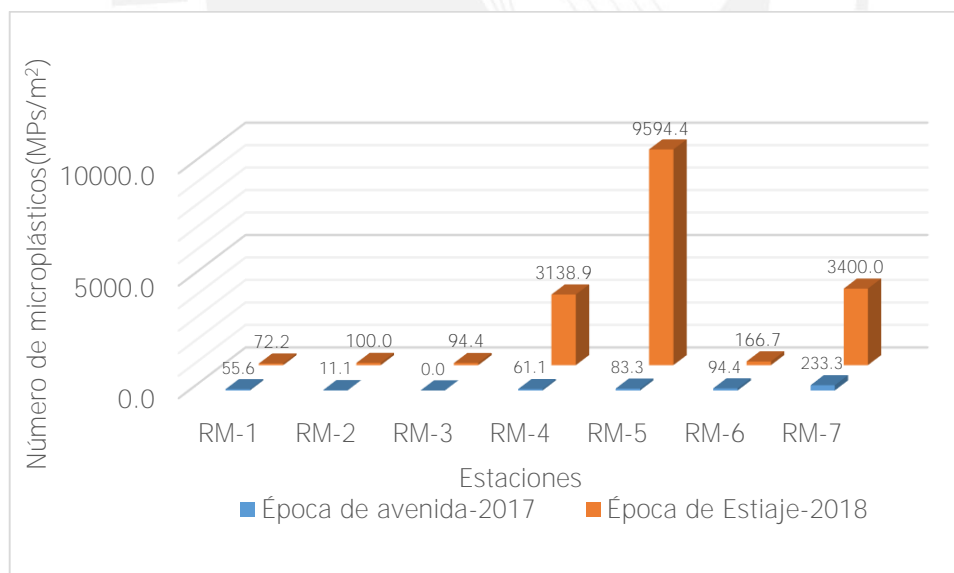


Figura 56. Registro de microplásticos en temporada de estiaje y avenida

El registro total de MPs es 17 105,6 MP/m² correspondiente a ambas épocas. Con similares a los obtenidos en río San Lorenzo con promedio 52 a 13 759 partículas/m² (Castañeda et al., 2014). Superiores a lo registros de MPs en playa de Sarnia en el lago

Huron donde se obtuvo 408 MP/m² (Zbyszewski & Corcoran, 2011) y a lo registrado en las playas el lago St. Clair con 15,53 MP/m². El número total de MPs aislados se han normalizado a un metro cuadrado para su comparación con otros estudios (ver tabla 25).

Tabla 25. Número total de MPs normalizados de época de avenida (noviembre de 2017) y época estiaje (agosto 2018)

Estación	Época de avenida-2017 (MP/m ²)	Época de estiaje-2018 (MP/m ²)	Total (MP/m ²)
RM-1	55,6	72,2	127,8
RM-2	11,1	100,0	111,1
RM-3	0	94,4	94,4
RM-4	61,1	3 138,9	3 200,0
RM-5	83,3	9594,4	9 677,8
RM-6	94,4	166,7	261,1
RM-7	233,3	3 400,0	3 633,3
Total	538,9	16 566,7	17 105,6
Máximo	233,3	9 594,4	9 677,8
Mínimo	0	72,2	94,4

Los microplásticos están presentes en diversas formas, tamaños y colores en ecosistemas marinos, lagos, ríos (Crawford & Quinn, 2017b; Klein, 2015), lo cual se confirma mediante presente investigación ya que se obtuvo un registro de 3709 partículas de MP de las cuales el mayor registro corresponde a fragmentos con 2695 partículas que representan 87,6% del total; 199 partículas de película que representa 6,5%; 121 partículas de filamento que representan 3,9 % y, finalmente, 64 partículas de esférulas que representa 2,1% del total. En la figura 57 se muestran las formas registradas de los microplásticos. Las formas de MP están relacionadas a la descomposición de plásticos mayores por efectos de fotólisis, termo-oxidación, termo-degradación y probablemente, por la acción de algunas bacterias (McCormick et al., 2016). Asimismo, las formas y tamaños favorecen el consumo por parte de las aves y peces (Eerkes-medrano et al., 2015) generan impactos negativos en el ecosistema de agua dulce y marina.

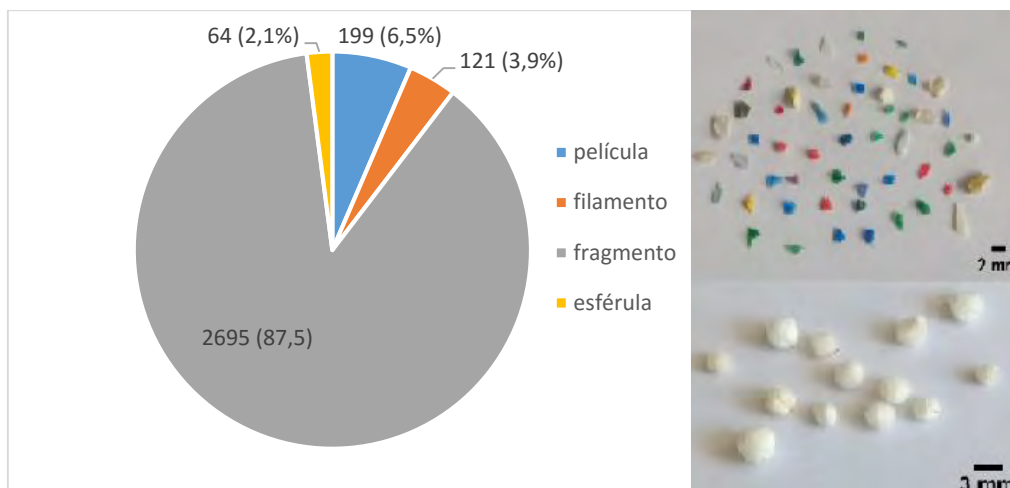


Figura 57. Formas de microplásticos

En cuanto a los colores de los MPs en el muestreo de noviembre 2017 en el Rimac fue 56% de color blanco, 8% de color rojo, 3% de color azul. Manrique reporta 22,2 % como blanco, 16,7 % como rojo, 11,1 % como azul en el río Jequetepeque (Manrique, 2019). Evidentemente, la coloración de los MPs varía en los sedimentos fluviales. Además, existen algunas especies de peces de importancia económica que son depredadores visuales: confunden las presas con MP de color amarillo, beige y blanco (Martínez, 2014). En consecuencia, los MPs pueden ser arrastrados durante la temporada de lluvia hasta llegar al mar y tener impactos negativos en el ecosistema marino.

El color predominante en los MPs aislados fue color blanco con 56%, seguido de color negro con 26% correspondiente a noviembre 2017. En cambio, el microplástico de menor tamaño se registró en la RM-7 con longitud de 0,063 mm para el mes agosto 2018 mientras para el mes de noviembre 2017 el tamaño registrado fue 0,15 mm en la misma estación. Los MPs, en su recorrido hacia el mar, van disminuyendo de tamaño por acciones mecánicas, químicas y/o biológicas. Según Martínez, el tamaño y el color pueden influir en el consumo de MPs por algunos peces y especies hidrobiológicas (Martínez, 2014).

Para el análisis de MP con el FTIR se ha seleccionado al azar las partículas de MP y cuyo resultado en la época de estiaje fue 71 polímeros y 86 polímeros en época de avenida. Se han identificado los polímeros PP, PS y PET en ambas épocas de monitoreo. En categoría otros, se encuentran el polímero poli(metilmetacrilato)- (PMMA) y polietileno de baja densidad (LDPE). Se han identificado 3 MPs de PET que

representan 1,9%; 30 MPs de PP que representan 19,1% y 36 MPs de PS que representan el 24,2%.

En el presente estudio se ha identificado 30 MPs de PP en comparación a otros estudios realizados en los sedimentos de lago Huron (12), lago Garda (2) y lago Erie (11). Este dato indica que el PP es de mayor abundancia en los ecosistemas de agua dulce (Imhof et al., 2013; Maciej Zbyszewski & Corcoran, 2011; Maciej Zbyszewski et al., 2014). En los tres estudios no se reportado el PS, mientras en el río Rímac se identificado 38 PP. El PVC no se ha encontrado en este estudio. Esto podría asociarse a que el PVC tiene mayor densidad que el agua por lo que estaría a mayor profundidad en los sedimentos lacustres y fluviales (Zbyszewski et al., 2014). Se precisa que en los tres estudios se reportaron PP y PE. En la tabla 26 se muestra la comparación de polímeros identificados con estudios similares.

Tabla 26. Comparación de reporte de polímeros analizados en diferentes estudios en sedimentos.

Autores	PS	PP	PE	PET	PVC	Zona estudio
Zbyszewski et al., 2011	sd	12	32	1	na	lago Huron
Imhof et al., 2013	sd	2	6	na	sd	lago Garda
Zbyszewski et al., 2014	sd	11	17	na	na	lago Erie
Esta tesis	38	30	na	3	0	río Rímac

na: no forma parte del estudio; sd: sí forma parte del estudio, pero sin dato

La abundancia de los PS identificados en esta investigación podría asociarse a los patrones de consumo de la población de los utensilios (platos, vasos, bodegas de tecnopor). Este polímero no se recicla, por lo que, generalmente termina en los botaderos o rellenos sanitarios. Según Nishi, se han importado 35 786 toneladas de materia prima de poliestireno hasta el cierre del año 2018, por lo que urge fortalecer las normativas existentes para la regulación de plásticos de un solo uso.

7.3. Percepción de la población

7.3.1. Sobre las fuentes de microplásticos

Se halló que en las aguas que se encuentran por debajo de las descargas de efluentes se reporta mayor cantidad de MP (McCormick et al., 2014), lo cual es concordante con los registros obtenidos en las estaciones RM-5 (9677,8 MP/m²) y RM-7 (3633,3 MP/m²) en el presente estudio. Durante las vistas a campo en las dos épocas se ha evidenciado descarga de efluentes aguas arriba de las dos estaciones de monitoreo. Los efluentes industriales podrían ser fuente de MP (Zbyszewski et al., 2014). En la zona de estudio,

la quebrada Huaycoloro podría ser el mayor aportante de microplástico según los registros obtenidos de 1 609 fragmentos en la estación RM-5. En esta quebrada, Korea Water Resources Corporation ha identificado fábricas industriales informales.

Otra de las fuentes de MP son los residuos urbanos por falta de un sistema de gestión adecuado (Free et al., 2014; Purca & Henostroza, 2017a). En Perú, los residuos sólidos son arrojados a los botaderos informales y a los cauces de los ríos (Durand, 2012; Ruiz et al., 2009). Lo señalado por Ruíz se pudo corroborar durante los trabajos de campo mediante la evidencia obtenida a través del registro fotográfico en el cual se aprecian los diferentes tipos de residuos, entre ellos plásticos en el cauce del río y sobre las aguas superficiales. La presencia de residuos sólidos en los cauces de los ríos se debe a dos causas principales. Primero, por falta de cobertura en el recojo de residuos sólidos y, segundo, por los malos hábitos de la población asentada cercana a los cauces quienes, al no acceder al servicio de recojo, arrojan los residuos a los cauces de los ríos.

7.3.2. Análisis de componente social

La cantidad de la población entrevistada fue inferior en A. H Villa Campoy (7) y A. H Julio C. Tello (8) en comparación al tamaño de muestras recomendado por López y La Matta. No se cumplió con el tamaño de muestra requerida por resguardar la seguridad de la brigada que realizaba la entrevista y algunos pobladores no accedieron a participar por la firma del “Protocolo de consentimiento informado para participantes”. En cambio, en el A. H Huayaringa Baja sí se cumplió con el tamaño de muestras requerida. En la tabla 27 se muestra la comparación de tamaño de muestras.

Tabla 27. Tamaño de muestras para entrevista

Población	Número de la Población identificado el 12 enero 2019	Tamaño de muestra con formula para poblacion finita según La Matta	Tamaño de la muestra según López el 30% de la población	Trabajo de Campo, Huanaco, 2019
A. H Villa Campoy	40	36	12	7
A. H Julio C. Tello	55	48	17	8
A. H Huayaringa Bajo	21	20	6	6

La información obtenida proviene de una muestra heterogénea según el perfil del entrevistado: 16 mujeres, 5 varones; el rango de edad va 18 a 80 años y los oficios son diverso: profesora de colegio, ama de casa, estudiantes universitarios, administrador, comerciantes y transportistas.

En todos los estudios revisados sobre MP, no se incluye la percepción de población sobre la gestión de residuos y los microplásticos. En la presente investigación se toma la iniciativa de incluir a la población asentada cercana a los zonas de muestreo con el objetivo de conocer la percepción sobre la gestión de residuos y los MPs. Este análisis está enmarcado en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Según los resultados de la entrevista, 71,4% de los entrevistados señala que separa los residuos en bolsas. Pero, de acuerdo a las observaciones realizadas durante la entrevista, no se evidencia lo manifestado. Por lo que las autoridades competentes deben realizar las capacitaciones a la población en manejo y reciclaje de residuos de plásticos. El 28,6% indica que no conoce la forma correcta de reciclaje.

Según la población entrevistada, 90,4% no conoce sobre los MPs. Los entrevistados que respondieron afirmativamente sobre esta pregunta son estudiantes e indican que recibieron la información en sus centros de estudios. Los resultados obtenidos en la entrevista exploratoria son una muestra del desconocimiento sobre los MPs por parte de la población. Por lo cual, urge tener políticas claras sobre la gestión adecuada de residuos de plásticos y la prevención de generación de MP. Las políticas del Estado deben acompañarse de normas claras y acorde a la realidad peruana. Asimismo, se debe fortalecer y hacer cumplir la Ley N° 30884, que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables.

En base a los resultados obtenidos en campo, en laboratorio y la revisión del estado del arte, se acepta la hipótesis planteada y se confirma la presencia de los microplásticos en los sedimentos laterales debido a una mala gestión de los residuos de plásticos y sus derivados de estos materiales en cuenca baja del río Rímac.

Los resultados obtenidos reflejan el incremento de MP mientras se avanza aguas abajo hacia la última estación de evaluación y hacia la desembocadura del río Rímac. Este incremento podría estar asociado a la presencia de puntos de descarga de efluentes y presencia de residuos sólidos en el cauce del río.

7.4. Propuesta de políticas ambientales para prevenir y mitigar la generación de microplásticos en los ecosistemas acuáticos

Son preocupantes y alarmantes los resultados obtenidos en esta investigación. La cantidad total de MPs registrados sobrepasan las 3000 partículas. Asimismo, se han registrado MPs 0,063mm invisible al ojo humano y con diversos colores. Lo preocupante

es que la población circundante al río Rímac y otras zonas siguen realizando sus actividades cotidianas de lavado de ropa, aseo personal, regado de sus cultivos y entre otros. De modo que las personas estarían siendo invadidas por estos contaminantes silenciosos y desconocidos para la mayoría de la población.

Es cierto que los daños al ecosistema acuático son conocidos. Por ejemplo, el consumo de MPs por peces filtradores y aves tanto de ríos como de mar. Sin embargo, no se sabe con certeza cual es el impacto y la consecuencia en la salud de las personas. Además, los mismos organismos responsables del control ambiental desconocen sobre el efecto en la salud. Por ello, es necesario implementar políticas ambientales para mitigar los MPs presentes en el ecosistema acuático y prevenir la generación de nuevos MPs. Bajo este escenario, se proponen dos políticas:

- a. Políticas de prevención. Basado en la concientización a la población circundante al río en temas de cuidado del recurso hídrico, gestión de residuos y la mitigación de microplásticos.
- b. Políticas de diagnóstico. Implementar programas de monitoreo de MPs en los principales ríos, lagunas, lagos y mares de interés nacional.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Los resultados de la presente investigación confirman la presencia de microplásticos en los sedimentos laterales del río Rímac. La existencia de microplásticos podría estar afectando al ecosistema de la cuenca baja del río Rímac. Sin embargo, es necesario realizar más estudios detallado tanto en los sedimentos y agua superficial para confirmar los efectos negativos. Por otro lado, no se puede determinar la afectación a la salud de las personas por los microplásticos.

De acuerdo a las observaciones de campo los residuos de plásticos son una de las fuentes de microplásticos. Los residuos de plásticos están asociados a la mala gestión de residuos sólidos en alguna etapa de la cadena de las actividades productivas, falta de cobertura de recojo y los malos hábitos de las poblaciones asentadas cercana al cauce del río Rímac. Otras de las fuentes son las descargas de efluentes industriales, proveniente de la industria informal. Las altas concentraciones obtenidas de microplásticos en la quebrada Huaycoloro confirman lo señalado. Las descargas de los efluentes domésticos también podrían estar asociadas a la microplásticos debido a que se evidencian partículas de microplástico en forma de filamentos.

Como resultado de la aplicación de la metodología se obtiene 233,3 MP/m² correspondiente a la época de avenida, noviembre 2017 y 16 556,7 MP/m² correspondiente a la época de estiaje, agosto 2018. Los microplásticos identificados corresponden a 36 poliestireno, 30 polipropileno, 3 polietilen tereftalato. Estos resultados son producto del diseño de una red de monitoreo de microplásticos. La red monitoreo fue establecida previa visita a la zona de estudio antes de ejecutar los monitoreos. Estas redes se han asociado las fuentes de microplásticos, como presencia de residuos de plásticos en el cauce, descarga de efluentes industriales y domésticos.

Durante la implementación de la metodología se presentaron dos dificultades; primero, solo se ha obtenido dos muestras cuando debió ser tres para garantizar la representatividad del resultado. Esta decisión fue tomada porque el análisis MP requiere mayor tiempo en todo el proceso de análisis e identificación de microplásticos, por lo que, en las futuras investigaciones se debería considerar mayor plazo en el análisis de microplásticos. Segundo, no se consideró y analizo las muestras en blanco para determinar posible contaminación de las muestras, sin embargo, se siguió el cuidado adecuado como cubrir todas las muestras y materiales con papel aluminio. Lavar y secar

los materiales antes de utilizar. Pero, los buenos resultados obtenidos sobre la cuantificación e identificación de microplásticos con similares estudios, permite utilizar este método.

Los resultados obtenidos de la entrevista exploratoria reflejan el poco conocimiento de la población sobre los impactos negativos de los residuos plásticos en las aguas del río Rímac y sobre el manejo de residuos sólidos y en particular sobre el origen y su impacto de los microplásticos en río Rímac.

La normatividad y políticas sobre la prevención en la generación de microplásticos es incipiente, a pesar del esfuerzo de las autoridades. Por lo que, es necesario incluir políticas y normatividad específica sobre microplásticos en la gestión de los recursos hídricos. Por ello, se deberían implementar estaciones de monitoreo de microplásticos, elaborar protocolo de monitoreo de microplásticos e incidir en la capacitación a la población y autoridades para el manejo adecuado de los residuos sólidos.

Producto de la investigación se puede afirmar que el río Rímac transporta grandes cantidades microplásticos hacia el Mar peruano, por lo tanto, estaría afectando al ecosistema marino.

8.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio más detallado tanto en los sedimentos y agua superficial. Además, debe incluir la evaluación en la desembocadura del río Rímac. Asimismo, se propone implementar dos estaciones de monitoreo de MP en la estación RM-1 y RM-7. Cuyo objetivo sería realizar el seguimiento temporal y espacial de la presencia de microplásticos en la cuenca baja del río Rímac.

Se recomienda concientización a la población circundante al río en temas de cuidado del recurso hídrico, gestión de residuos y la mitigación de microplásticos.

Se recomienda implementar programas de monitoreo de MPs en los principales ríos, lagunas, lagos y mares de interés nacional.

Se recomienda implementar un marco normativo para mitigar y prevenir la generación de microplásticos en los ecosistemas acuáticos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud En Tabasco*, 11(1–2), 333–338. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- American Society of Testing Materials. (2018). Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification. <https://doi.org/10.1520/D7611>
- Areizaga, J., Cortázar, M. M., Elorza, J., & Iruin, J. J. (2002). *Polímeros*. España: Síntesis S.A.
- Astorayme, M. (2017). *Configuración de Modelos Climáticos, Hidrológicos e Hidráulicos en la Cuenca del Río Rímac, Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8506>
- Autoridad Nacional de Agua. (2010). Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac, 226. Retrieved from http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf
- Autoridad Nacional de Agua. (2012). *Informe Técnico - Resultado del Monitoreo de la Calidad del Agua en la Cuenca del RÍO rÍMAC*. Lima. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2974>
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de los polímeros, procesado y propiedades.pdf*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Billmeyer, F. W. (1975). *Ciencia de los Polímeros.pdf* (segundo). España: Editorial Reverte.
- Bonilla, J. (2014). *Fabricación de Láminas de Polietileno de Baja Densidad para empaques de Alimentos Cárnicos (tesis para título de ingeniera Químico)*. Universidad Central del Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/2871/1/T-UCE-0017-78.pdf>
- Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., & Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>
- Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science and Technology*, 44(9), 3404–3409. <https://doi.org/10.1021/es903784e>
- Calla, H. J. (2010). *Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac -Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras*. Universidad Nacional de Mayor de San Marcos. Retrieved from http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/797/calla_lh.pdf;jsessionid=275D7FC19609265BED48B559D01F9A11?sequence=1
- Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). Polystyrene Spherules in Coastal Waters Rous Sarcoma Virus Nucleotide Sequences in Cellular DNA : Measurement by RNA-DNA Hybridization. *Sciences*, 159(NOVEMBER), 0–1.

- Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., Ricciardi, A., & Smith, R. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767–1771. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0281>
- Christoph, R., Muñoz, R., Hernández, Á., & Ventura, J. (2016). Aspectos Nano De Los Desechos De Plástico. *Momento- Revista de Física*, 0(51E), 65–76. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/55990>
- Coalition Clean Baltic. (2017). GUIDE TO MICROPLASTIC IDENTIFICATION. Retrieved from [https://www.ccb.se/documents/Postkod2017/Mtg050317/Guide to Microplastic Identification_MERI.pdf](https://www.ccb.se/documents/Postkod2017/Mtg050317/Guide%20to%20Microplastic%20Identification_MERI.pdf)
- 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>
- Coll, J. (2017). Investigación geotécnica para la red del metro de lima. *Perfiles de Ingeniería*, 13, 25–33. Retrieved from http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/download/1460/1353/.
- Collantas, I. R., Leyva, M. P., Mejía, J. P., & Ruíz, D. R. (2017). *Planeamiento Estratégico de la Industria Peruana del Plástico (tesis de la maestría)*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9037>
- Colton, J. B., Burns, B. R., & Knapp, F. D. (1974). Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic. *Science*, 185(4150), 491–497. <https://doi.org/10.1126/science.185.4150.491>
- Congreso de la República. (2018). Ley N° 30884, Ley que regula el plásticos de un solo uso y los recipientes o envases descartables. *El Peruano*, 479932–479959. Retrieved from <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ley-que-regula-el-plastico-de-un-solo-uso-y-los-recipientes-ley-n-30884-1724734-1>
- Congreso Nacional de Chile. (2018). Ley Núm. 21.100 Prohíbe la Entrega de Bolsas Plásticas de Comercio en todo el Territorio Nacional, 5–7. Retrieved from <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1121380>
- Costa, M. F., Ivarl, J. A., Silva-Cavalcanti, J. S., Araújo, M. C. B., Spengler, Â., & Tourinho, P. S. (2010). On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: A snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168(1–4), 299–304. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1113-4>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017a). Microplastic collection techniques. *Elsevier*, 179–202. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00008-6>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017b). Microplastics, standardisation and spatial distribution. In *Microplastic Pollutants* (pp. 101–130). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00005-0>
- Desu, M. M., & Raghavarao, D. (1990). One-Sample Problems. In *Sample Size Methodology* (pp. 1–21). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-212165-4.50006-1>
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., & Varela, M. (2013). La entrevista , recurso flexible y dinámico. *Investigación En Educación Medica*, 2(7), 162–167. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/iem/v2n7/v2n7a9.pdf>

- Dris, R., Gasperi, J., & Tassin, B. (2018). *Sources and fate of microplastics in urban areas: A focus on Paris megacity. Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 58). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_4
- Dris, R., Imhof, H., Sanchez, W., Gasperi, J., Galgani, F., Tassin, B., & Laforsch, C. (2015). Beyond the ocean : Contamination of freshwater ecosystems with (micro-) plastic particles. *Environmental Chemistry*, 12(5), 539–550. <https://doi.org/10.1071/EN14172>
- Durand, M. (2012). La gestión de los residuos sólidos en los países en desarrollo: ¿cómo obtener beneficios de las dificultades actuales? *Espacio y Desarrollo*, 0(23), 115–130. Retrieved from <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/3502>
- 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/http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., ... Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1–2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>
- Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., & De Alencastro, L. F. (2012). Pollution due to plastics and microplastics in lake Geneva and in the Mediterranean sea. *Archives Des Sciences*, 65(1–2), 157–164. <https://doi.org/10.1071/EN14218>
- Flores, J. S. (2014). *Análisis de una red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Jequetepeque mediante análisis multivariado*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9381>
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., & Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>
- Geng, D. (2016). Reformas institucionales del agua en la costa peruana : Análisis de la gobernanza del agua en la cuenca Ica-Alto Pampas, 116. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7859>
- Gómez, M. (2014). *Estudio de Compósitos de Polipropileno y Policaprolactama con Nanopartículas Esféricas y Laminas de Sílice y Caracterización de Sus Propiedades*. Univesidad de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130721/Estudio-de-compósitos-de-polipropileno-y-policaprolactama-con-.pdf?sequence=1>
- Guber, R. (2001). *La Etnografía*. (G. E. Norma, Ed.). Bogata.
- Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research*, 87–88, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015>
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. *Urban Development Series; Knowledge Papers no. 15, World Bank*, 116. <https://doi.org/10.1111/febs.13058>

- Horton, A. A., Svendsen, C., Williams, R. J., Spurgeon, D. J., & Lahive, E. (2016). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames , UK – Abundance , sources and methods for effective quantifiatiion. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 218–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.004>
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Imhof, H. K., Ivleva, N. P., Schmid, J., Niessner, R., & Laforsch, C. (2013). Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology*, 23(19), R867–R868. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.09.001>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática -INEI. (2018). Perú: Formas de acceso al Agua y Saneamiento Básico, 1–69. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_saneamiento.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Lima. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1580/
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (1976). Mapa Ecológico del Perú, Guía Explicativa. Lima: Oficina Nacional de Evaluación de Los Recursos Naturales. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1052>
- Keith, L. H. (1966). Principles of Environmental Sampling. In *Principles of Environmental Sampling* (Second, p. 848). Washington: Maple Press Company.
- Klein, S. (2015). *Microplastics in Freshwater Systems : Analysis , Occurrence , and Sorption of Organic Contaminants (tesis de doctorado)*. Technische Universität Dresden Supervisors/Examiners:
- Klein, S., Dimzon, I. K., Eubeler, J., & Knepper, T. P. (2018). Freshwater Microplastics. In F. T. GmbH (Ed.), *Freshwater Microplastics* (pp. 51–63). Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>
- Klein, S., Worch, E., & Knepper, T. P. (2015). Occurrence and Spatial Distribution of Microplastics in River Shore Sediments of the Rhine-Main Area in Germany. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00492>
- Korea Water Resources Corporation. (2015). Informe final, 1–580. Retrieved from <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/637>
- Kummer, F. (2018). Microplastics detected in human feces internationally , study finds. *Philadelphia Inquirer, The (PA)*. Retrieved from, 26–28. Retrieved from <http://search.ebscohost.com.ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login.aspx?direct=true&db=n5h&AN=2W61232913103&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- La Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” - ENFEN. (2017). Informe Técnico Extraordinario N ° 001-2017 / Enfen El Niño Costero 2017. Ilma.
- La Matta, F. (2017). *Percepciones, actores y manejo actual de los humedales altoandinos de la comunidad campesina Santiago de Carampoma, Huarochirí,*

- Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/9123/La_Matta_Romero_Percepciones_Actores_Y_Manejo_Actual_De_Los_Humedales_Altoandinos.Pdf?Sequence=6
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- López, P. L. (2004). Población muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 9, 69–74. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
- Manilla, J., & Martínez, S. (2008). *Los polímeros y sus características*. Instituto Politécnico Nacional. Retrieved from <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/544>
- Manrique, R. E. (2019). *Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú (tesis de maestría)*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15030>
- Martínez García, A. D. (2014). *Análisis y Caracterización de Microplásticos Presentes en Limpiadores Faciales y su Impacto sobre el Medio Ambiente (tesis de maestría)*. España. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10317/5046>
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48., (July).
- McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schlupe, J., & Kelly, J. J. (2014). Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science and Technology*, 48(20), 11863–11871. <https://doi.org/10.1021/es503610r>
- McCormick, A. R., Hoellein, T. J., London, M. G., Hittie, J., Scott, J. W., & Kelly, J. J. (2016). Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages. *Ecosphere*, 7(11), 22.
- Mendoza, M. A. (2018). *Evaluación Físicoquímica de la Calidad del Agua Superficial en el Centro Poblado De Sacsamarca, Región Ayacucho, Perú (tesis de maestría)*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, 18–49.
- Ministerio del Ambiente, C. F. A. N. (2013). Programa NAMA de Residuos Sólidos - Perú Informe: Diagnóstico de los Residuos Sólidos en el Perú, 120.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2002). Directiva Marco sobre la Estrategia Marina. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/proteccion-internacional-mar/union-europea-proteccion-medio-marino-y-costero/dm_estrategia_marina.aspx
- Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 11(1), 65–73. <https://doi.org/10.5894/rgci194>

- Murga, C. (2017). *Propuesta de Gestión de Residuos Sólidos para Sacsamarca, Ayacucho (tesis de maestría)*. Pontificia universidad católica del Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9124>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019). Sobre nosotros. Retrieved from <https://marinedebris.noaa.gov/about-us>
- Nishi, S., & Abril, M. B. A. (2016). Análisis del sector plástico en el Perú.
- Ozonas, L., & Pérez, A. (2004). La entrevista semiestructurada. Notas sobre una práctica metodológica desde una perspectiva de género. *La Hierba*, 9, 198–203. Retrieved from <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/aljaba/n09a19ozonas.pdf>
- Phillips, M. B., & Bonner, T. H. (2015). Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.041>
- PlasticsEurope. (2017). Plásticos – Situación en 2017, 50. Retrieved from https://www.plasticseurope.org/download_file/force/1452/632%0A
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible, 4–7.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2011). Noticias ONU (/ es /). Retrieved from <https://news.un.org/es/story/2011/03/1213841>
- Purca, S., & Henostroza, A. (2017b). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú Microplastic in four sandy beaches from Peruvian coast. *Revista Peruana de Biología*, 24(April), 101–106. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Robles, B. (2011). La entrevista en profundidad : una técnica útil dentro del campo antropológico. *Cuicuilco*, 18, 39–49. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/351/35124304004.pdf>
- Ruiz, A., Zela, C., Pajuelo, M., Roldán, P., & Rodríguez, J. C. (2009). *Desde la Basura, cambiando mentes y corazones*. Lima: Ciudad Saludable.
- Sadri, S. S., & Thompson, R. C. (2014). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.020>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2017). Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Syberg, K., Khan, F. R., Selck, H., Palmqvist, A., Banta, G. T., Daley, J., ... Duhaime, M. B. (2015). Microplastics: Addressing ecological risk through lessons learned. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(5), 945–953. <https://doi.org/10.1002/etc.2914>
- The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP). (2019). Nuestro trabajo. Retrieved from <http://www.gesamp.org/work/programme>
- United States Congress. (1994). H . R . 4668 - Marine Plastic Pollution Research and Control Act of 1994, 4668. Retrieved from <https://www.congress.gov/bill/103rd-congress/house-bill/4668?s=1&r=61>
- Wagner, M., & Lambert, S. (2018). *Freshwater Microplastics Emerging Environmental*

- Contaminants?* (D. Barceló & A. G. Kostianoy, Eds.) (Vol. 58). Switzerland: The Handbook of Environmental Chemistry. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5>
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., ... Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, 51, 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Yachi Leiva, C. R. (2014). *Diseño de boya lagrangiana para detección de contaminantes en corrientes costeras superficiales*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Arte. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5829>
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kollandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science and Technology*, 49(22), 13622–13627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>
- Zbyszewski, M., & Corcoran, P. L. (2011). Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron , Canada. *Water Air Soil Pollut*, 220, 365–372. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0760-6>
- Zbyszewski, M., Corcoran, P. L., & Hockin, A. (2014). Comparison of the distribution and degradation of plastic debris along shorelines of the Great Lakes, North America. *Journal of Great Lakes Research*, 40(2), 288–299. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.02.012>

ANEXO

1. Formulario de consentimiento informado previo a las entrevistas

PROTOCOLO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPANTES¹

El propósito de este protocolo es brindar al participante de este estudio, una explicación clara de la naturaleza del mismo, así como del rol que tienen en ella.

El presente estudio es conducido por Raúl Huanaco Huamán, estudiante de la Maestría en Gestión de los Recursos Hídricos de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El Objetivo es realizar el DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS LATERALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO RÍMAC.

Si usted acepta colaborar con este estudio, se le pedirá responder una entrevista que le tomará 30 minutos de su tiempo. Su respuesta a las preguntas se registrará en la ficha técnica o la conversación será grabada, así el investigador podrá transcribir las ideas que usted haya expresado. Una vez finalizado el estudio, las grabaciones serán destruidas.

Su participación será voluntaria. La información que se recoja será estrictamente confidencial, si usted a hice lo requiere, y no se podrá utilizar para ninguna otro propósito que no esté contemplado en esta investigación.

Las entrevistas llevadas a cabo con usted serán confidenciales. Para proteger la información que usted brinde, serán codificadas utilizando un número de identificación.

Si tuviera alguna duda con la relación al estudio, usted es libre de formular las preguntas que considere pertinente. Además, puede finalizar su participación en cualquier momento del estudio sin que esto represente algún perjuicio para usted. Si se sintiera incómoda o incómodo frente a alguna de las preguntas, puede ponerlo en conocimiento de la persona a cargo de la investigación y abstenerse de responder.

Muchas gracias por tu participación

Yo _____ doy mi consentimiento para participar en el estudio y soy consciente de que mi participación es enteramente voluntaria.

He recibido información en forma verbal sobre el estudio mencionado anteriormente y he leído la información escrita adjunto. He tenido la oportunidad de discutir sobre el estudio y hacer preguntas

Entiendo que puedo finalizar mi participación en estudio en cualquier momento, sin que esto represente algún perjuicio para mí.

Entiendo que recibiré una copia de este formulario de consentimiento e información de estudio y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando este haya concluido. Para esto, puedo comunicarme con Raúl Huanaco Huamán al correo raul.huanaco@pucc.edu.pe o al teléfono 951610744.

Firma

Fecha

Nombre del investigador responsable

Firma

Fecha

¹ Para la elaboración de este protocolo, se ha tenido en cuenta el formulario del C.I. del Comité de Ética del Departamento de Psicología de la PUCP.