

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

**SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS MEDIANTE PROCESOS FÍSICO-
QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

Autor:

Wilson Adrián Barros Barreno

Tutor:

Ing. Marcel Paredes Herrera. MSc.

Riobamba – Ecuador

Año 2021

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS MEDIANTE PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Presentado por: Wilson Adrián Barros Barreno

Dirigido por: Ing. Marcel Paredes Herrera Ms.C

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Carlos Saldaña

CARLOS
SEBASTIAN
SALDAÑA
GARCIA

Firmado digitalmente por CARLOS
SEBASTIAN SALDAÑA GARCIA
DN: cn=CARLOS SEBASTIAN
SALDAÑA GARCIA, o=CARLOS
SEBASTIAN -EC- RIOBAMBA,
sur=Certificado de Clase 2 de Persona
Física EC (FIRMA),
email=csalda@unach.edu.ec
Motivo: Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha: 2021-03-23 21:09+19:00

Presidente de Tribunal

Firma

Ing. Marcel Paredes Herrera

Firmado electrónicamente por:
**MARCO MARCEL
PAREDES HERRERA**

Director del Proyecto

Firma

Dr. Víctor García

Victor
Julio
Garcia

Digitally signed by Victor
Julio Garcia
DN: cn=Victor Julio Garcia,
o=Universidad Nacional de
Chimborazo, ou=Facultad de
Ingeniería, Carreera de
Ingeniería Civil,
email=vjgarcia@unach.edu.ec

Miembro del Tribunal

Firma

Ing. Javier Palacios

Firmado electrónicamente por:
**0501325476 MARCO
JAVIER PALACIOS
CARVAJAL**

Miembro del Tribunal

Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, elaborado por el señor, Wilson Adrián Barros Barreno, con el tema: “SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS MEDIANTE PROCESOS FISICO-QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de tutor y guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que se puede informar en honor a la verdad.



Ing. Marcel Paredes Herrera
C.I. 0603783184

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Wilson Adrián Barros Barreno, con cédula de identidad N° 060386996-7; hago referencia como autor del presente trabajo de investigación, titulado: “SEPARACIÓN DE MICROPLÁSTICOS MEDIANTE PROCESOS FISICO-QUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, dirigido por el tutor, Ing. Marcel Paredes Herrera. En virtud de ello, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo, datos obtenidos, interpretación de resultados, la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado apropiadamente en el contenido del documento.



Wilson Adrián Barros Barreno
C.I. 060386996-7

AGRADECIMIENTO

Agradezco el trabajo de investigación en primera estancia a Dios por guiarme por el camino del bien, a mi familia por toda la dedicación brindada, sus enseñanzas, paciencia en toda mi etapa estudiantil, apoyo en buenos y malos momentos. A mis padres a quienes quiero enorgullecer en cada etapa de la vida, a mi papá que me ha enseñado a superar cada problema en las fases de mi vida, a mi mamá que me ha enseñado la persistencia y conciencia que implica ser un profesional, a mi hermana por la paciencia y el apoyo incondicional en cada tropiezo.

Finalmente quiero agradecer al Ing. Marcel Paredes por la paciencia, así como los conocimientos que me ha otorgado en la realización del trabajo, además por sus consejos en cada etapa de la investigación.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación con todo el amor y cariño a todas las personas que ayudaron en mi aprendizaje y por el apoyo brindado.

A mis padres Wilson y Gloria por los consejos, enseñanzas en los valores que debe tener cada profesional, por haberme brindado la oportunidad de tener una excelente educación en mi vida estudiantil, además por ser un gran ejemplo de unión, responsabilidad, paciencia, a mi hermana Karen que con sus consejos me ha brindado alegrías, apoyo incondicional en todo momento.

A todos mis familiares y amigos que me apoyaron incondicionalmente en todos los estudios, brindándome su experiencia, sus consejos y aunque muchos de ellos no tienen la misma profesión a su manera han logrado ayudarme en otros ámbitos para tener un mayor esfuerzo en los estudios.

A todos los docentes quienes nos enseñaron que no solo es el saber si no el ser para llegar a ser un buen profesional.

ÍNDICE

RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
3. MARCO TEORICO	6
3.1. Aguas Residuales	6
3.2. Tipos de Aguas Residuales	6
3.3. Contaminantes en Aguas Residuales	8
3.4. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	8
3.5. Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales	9
3.6. Procesos Físicos y Químicos.....	9
3.7. Definición de Microplásticos.....	9
3.8. Tipos de Microplásticos.....	10
3.9. Técnicas de Separación De Microplásticos.....	10
3.9.1. Detección Visual y Separación	10
3.9.2. Filtración	10
3.9.3. Tamizado.....	11
3.9.4. Elutriación.....	11
3.9.5. Flotación por Espuma	11
3.9.6. Separación por Densidad	11
3.10. Reactivos Utilizados en la Separación de Microplásticos.....	12
3.11. Límites Permisibles De Agua Residuales	14
3.11.1. Consideraciones generales para toma de muestra de aguas residuales:	15
3.11.2. Procedimiento Para Recolección De Aguas Residuales	16
3.12. Prueba de Jarras	16
4. METODOLOGÍA	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
6.1. Conclusiones.....	35
6.2. Recomendaciones	36
7. BIBLIOGRAFÍA.....	37
8. ANEXOS.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción De Microplásticos A nivel Mundial.....	1
Figura 2: Técnica para Separación por Densidad	12
Figura 3: Diagrama de Metodología.....	17
Figura 4: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 10% Reactivo	27
Figura 5: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 10% Reactivo	28
Figura 6: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 10% Reactivo	29
Figura 6: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 10% Reactivo	29
Figura 8: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 1% Reactivo	30
Figura 9: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 1% Reactivo	31
Figura 10: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 1% Reactivo	31
Figura 11: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 1% Reactivo	32
Figura 11: Eficacia Del Reactivo ZnCl y Sólidos Retenidos – Muestra 5.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de Aguas Residuales.....	6
Tabla 2: Presencia de Contaminantes y Efectos en la Salud.....	8
Tabla 3: Rango de Densidad de Plásticos Comunes.....	13
Tabla 4: Líquidos Pesados Para Separación de Plásticos Comunes	14
Tabla 5: Límites Permisibles De Descarga del Sistema de Alcantarillado.....	14
Tabla 6: Procedimiento Manual.....	16
Tabla 7: Descargas del Sistema de Alcantarillado.....	18
Tabla 8: Criterios para decisión de reactivos	19
Tabla 9: Muestras Para Experimentación	22
Tabla 10: Propiedades Iniciales De Las Muestras	22
Tabla 11: Microplásticos en Muestras	23
Tabla 12: Muestra 1 – 10% Reactivo.....	24
Tabla 13: Muestra 2 – 10% Reactivo.....	24
Tabla 14: Muestra 3 – 10% Reactivo.....	24
Tabla 15: Muestra 4 – 10% Reactivo.....	25
Tabla 16: Muestra 1 – 1% Reactivo.....	25
Tabla 17: Muestra 2 – 1% Reactivo.....	25
Tabla 18: Muestra 3 – 1% Reactivo.....	26
Tabla 19: Muestra 4 – 1% Reactivo.....	26
Tabla 20: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 10% Reactivo.....	27
Tabla 21: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 10% Reactivo.....	28
Tabla 22: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 10% Reactivo.....	28
Tabla 23: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 10% Reactivo.....	29
Tabla 24: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 1% Reactivo.....	30
Tabla 25: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 1% Reactivo.....	30
Tabla 26: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 1% Reactivo.....	31
Tabla 27: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 1% Reactivo.....	32
Tabla 28: Muestra 5 – 1% Microplásticos – 2% - 1% - 0.5% - 0.3% ZnCl.....	33
Tabla 29: Microplásticos en Muestras	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MODELO DE FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS	42
ANEXO 2: MÉTODO AHP	43
ANEXO 3: MICROPLÁSTICOS TRITURADOS	45
ANEXO 4: PEACHÍMETRO	45
ANEXO 5: CONDUCTIVÍMETRO	46
ANEXO 6: TURBIDÍMETRO	46
ANEXO 7: EQUIPO DE FILTRACIÓ AL VACÍO	47
ANEXO 8: CAJA PETRI CON FILTRO DE CELULOSA	47
ANEXO 9: CAJA PETRI CON FILTRO DE CELULOSA Y ROSA DE BENGALA	48
ANEXO 10: ESTEREOSCOPIO	48
ANEXO 11: CÁMARA UV	49
ANEXO 12: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS RICPAMBA	50
ANEXO 13: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS QUINTA MACAJÍ	51
ANEXO 14: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS EL BATÁN	52
ANEXO 15: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS YARUQUÍES	53
ANEXO 16: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS PARQUE ECOLÓGICO	54
ANEXO 17: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS PARQUE ECOLÓGICO	55
ANEXO 18: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS SAN LUIS	56
ANEXO 19: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS TRATAMIENTO DE AGUAS GADMR	57
ANEXO 20: MICROPLÁSTICOS EN ESTEREOSCOPIO	58
ANEXO 21: MICROPLÁSTICOS EN CÁMARA UV	58

RESUMEN

Los microplásticos son partículas pequeñas menores a 5 mm, provenientes de la degradación de productos de un solo uso, son transportados por medio de aguas residuales, que al no ser retenidos en los procesos de tratamiento se transfieren a diferentes organismos acuáticos provocando daños potenciales en los seres humanos.

La investigación es de tipo exploratorio y experimental debido que se pretende analizar la separación de microplásticos por densidad mediante la aplicación de procesos fisicoquímicos en aguas residuales recolectadas de las descargas públicas del sistema de alcantarillado de la ciudad de Riobamba.

Se utilizó la medición de parámetros iniciales con 4 muestras de agua residual midiendo turbidez, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y pH. Posteriormente se identificó la existencia de microplásticos de cada muestra, para una mejor comprobación se añadió un gramo de plástico degradado, disuelto en 1 litro de muestra. Finalmente se utilizó reactivos (Cloruro de Zinc, Yoduro de Sodio, Politungstato de Sodio) para lograr una separación del líquido obteniendo nuevos valores en los parámetros medidos.

Los resultados obtenidos afirman que mediante el método de separación por densidad se consigue una mejor eficacia utilizando Cloruro de Zinc en concentración de 0.5g disuelto en 100 ml de agua destilada y añadida a 1 litro de muestra de agua residual, obteniendo una eficacia de 87.22% y retención de microplásticos del 63.49%.

Palabras Claves: microplásticos, separación, contaminantes.

ABSTRACT

Microplastics are small particles smaller than 5 mm, originating from the degradation of single-use products, they transported by means of wastewater, which, as they are not retained in the treatment processes, transferred to different aquatic organisms causing potential damage to the human beings.

The research is exploratory and experimental because it aims to analyze the separation of microplastics by density through the application of physicochemical processes in wastewater collected from the public discharges of the sewerage system of Riobamba city.

The measurement of initial parameters used with 4 samples of wastewater measuring turbidity, electrical conductivity, total dissolved solids and ph. Subsequently, the existence of microplastics in each sample identified, for a better verification a gram of degraded plastic added, dissolved in 1 liter of sample. Finally, reagents (Zinc Chloride, Sodium Iodide, Sodium Politungstate) used to achieve a separation of the liquid obtaining new values in the measured parameters.

The results obtained affirm that by means of the density separation method a better efficiency is achieved using zinc chloride in a concentration of 0.5g dissolved in 100 ml of distilled water and added to 1 liter of waste water sample, obtaining an efficiency of 87.22% and retention of microplastics of 63.49%.

Keywords: microplastics, separation, pollutants

Reviewed by:

Mgs. Maritza Chávez Aguagallo

ENGLISH PROFESSOR

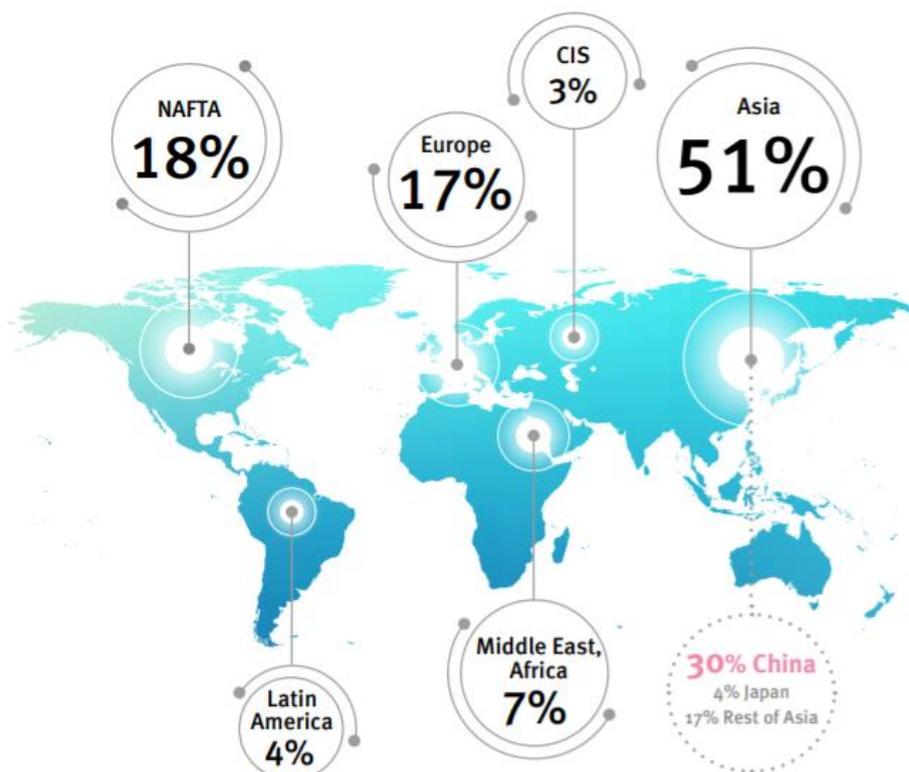
c.c. 0602232324

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2016 según el informe del Banco Mundial documentó el aumento en la generación de residuos sólidos urbanos. Por otro lado, se advierte que si la producción sigue incrementando llegará a 3.40 mil millones de t/año hasta el 2050 (Casazza et al., 2019). En general el ser humano no es consciente de la necesidad de realizar mejoras en las técnicas de recolección y gestión de los residuos, así como la existencia de técnicas de prevención (Chen et al., 2020).

“Plastics Europe the Facts 2019” indica que la producción mundial de plásticos suma un total de 51.2 Millones de toneladas siendo el mayor productor el continente asiático con un 51%, produciéndose en China el 30% (*Figura 1*). Los contaminantes son utilizados en actividades como agricultura, equipos electrónicos, automotriz, construcciones civiles, empaquetamientos y otros (Plastics Europe & Conversio Market & Strategy GmbH, 2019).

Figura 1: Producción De Microplásticos A nivel Mundial



Fuente: Plastics – The Facts 2019

Según el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) se estima que cada año se encuentra 8 millones de Toneladas de desechos, tales como vidrio, papel, cartón, maderas, entre otros como el plástico que representa alrededor del 80% del total de las basuras marinas (Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

Muchos países monitorearon contaminantes en el medio acuático para evaluar la eficacia de sus medidas implementadas en la reducción del consumo de desechos plásticos, sin embargo, encontraron complicaciones en la cuantificación del consumo de desechos plásticos al interior de especies marinas y la producción en masa de las fábricas de plástico (Ryan et al., 2009).

En 2010 alrededor de 192 países costeros generaron 275 millones de toneladas de desechos plásticos, 12.7 Millones de toneladas fueron transportados al océano debido a un mal proceso de eliminación de desechos y basura (Jambeck et al., 2015).

Los contaminantes están distribuidos alrededor del ambiente desde los rellenos sanitarios hasta los océanos, desde el nacimiento de un río, pasando la línea alta de la marea hasta las fosas abisales que comprenden desde diminutos trozos de plástico a la contaminación radioactiva, desde invisibles nutrientes hasta masivos derrames de petróleo (Elías, 2017).

Los plásticos son productos sintéticos, preparados por la polimerización de monómeros derivados de petróleo o de gas que poseen aditivos químicos que potencian sus propiedades (Elías, 2017).

El plástico está constituido por polietileno de alta y baja densidad, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliestireno y polietileno; representan el 90% de la producción mundial y con el pasar de años se ha incrementado, constituyen del 60 al 80% de la basura presente en el medio marino y dependiendo de su tamaño son llamados macroplásticos (envases, bolsas, botellas, juguetes, etc.) y microplásticos (fragmentación de los plásticos), los cuales son culpables de

reducir la economía que generan las industrias apoyadas en turismo en las zonas costeras (navegación, pesca, acuicultura y producción de energía), así como daño y muertes de aves marinas, mamíferos, peces y reptiles como resultado de enredo e ingestión provocando acumulación de toxinas a la base de la cadena alimenticia (Elías, 2017).

De acuerdo a Jayakody (2008) define a las aguas residuales como la combinación de efluentes domésticos llamados aguas negras (excremento, orina, lodos) y aguas grises (provenientes de lavaderos, lavabos o baños); Aguas provenientes de establecimientos o instituciones comerciales, gubernamentales, industriales, hospitales que poseen aguas pluviales, esorrentías urbanas, agrícolas entre otras.

Los microplásticos (Mps) son contaminantes que resultan de la actividad humana en la aplicación a productos de un solo uso, cuya acumulación en el ambiente producen impactos físicos, químicos sobre el medio acuático así también sobre el terrestre (Bollaín Pastor & Vicente Agulló, 2019). Su degradación se da en fragmentos menores a los 5mm, además dependen del tipo de material que presenta como polímeros, biopolímeros o sintéticos; su estado en el ecosistema ya sea sólido o semisólido; su morfología como fibras, láminas o esferas (Bollaín Pastor & Vicente Agulló, 2019).

Las plantas de tratamiento recogen las aguas residuales de toda una población que operan a manera de sumideros acumulando todos los contaminantes conocidos, a estos se suman la presencia de microplásticos que debido a una retención incompleta durante el proceso de tratamiento son desechados al medio ambiente transfiriéndose entre diferentes organismos acuáticos provocando daños potenciales en los humanos. (Bayo et al., 2018)

Un estudio realizado por Bandow (2017) indica que los microplástico al estar expuestos a factores externos (clima, temperatura, agua) provoca envejecimiento y liberación de lixiviación. Además en Quito, Ecuador se logró encontrar microplásticos en la producción de

bebidas refrescantes procedentes de una empresa de Guayaquil las cuales presentan formas de fibras de varios tamaños y colores, principalmente encontrados en agua que es uno de los elementos principal de este producto (Aurelius, 2019).

Según la investigación realizada en el cantón Riobamba de Ecuador por Paredes (2019), señala que de un total de 62 muestras tomadas en puntos de distribución de Agua Potable analizadas el 19% presenta microplásticos siendo un porcentaje bajo, no obstante, las personas que consuman de estas líneas de distribución podrían presentar afecciones a la salud por el consumo de los mismos. No se puede evidenciar microplásticos en los efluentes, sin embargo, un estudio de la Universidad Nacional de Chimborazo (Cifuentes, 2017) evidencia la existencia de microplásticos en tanques de almacenamiento lo cual indica que antes de utilizar el agua en distintas actividades ya presenta contaminación de microplásticos.

La presente investigación tiene por objetivo el análisis de la separación de microplásticos mediante procesos fisicoquímicos en aguas residuales de la ciudad de Riobamba a partir del análisis de muestras con presencia de microplásticos identificadas en sistemas de alcantarillado aplicando reactivos con el fin de disminuir la concentración de microplásticos.

En la actualidad no existe mecanismos estandarizados que permita la eliminación de microplásticos alrededor del mundo, ya que únicamente se conoce procesos fisicoquímicos para eliminar otros tipos de residuos (materia orgánica, pesticidas, detergentes, aceites, grasas, etc.) utilizando floculantes-coagulantes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar la separación de microplásticos mediante procesos físico-químicos en aguas residuales de la ciudad de Riobamba.

2.2. Objetivos Específicos

- Recolectar muestras con presencia de microplásticos en los puntos de concentración de Aguas Residuales.
- Identificar el reactivo que ayuden en la separación de microplásticos mediante procesos fisicoquímicos.
- Comprobar la eficacia del reactivo para separación de microplásticos.

3. MARCO TEORICO

3.1. Aguas Residuales

Agua residual es el término que se utiliza para referirse a las aguas provenientes del sistema de abastecimiento de toda una población que resultan de las actividades domésticas, industriales, agrícolas, urbanas, lavanderías, recreación, pluviales, comerciales, entre otras además de poseer un color sucio y contaminadas, porque atraen grasas, detergentes, plaguicidas, residuos sólidos, materia orgánica y sustancias tóxicas, que si no tienen un tratamiento el momento de su descarga producen una alteración sobre el ecosistema terrestre y acuático provocando enfermedades en los seres vivos quienes se encuentren cercanos a la disposición final de estos efluentes (Villacreses, 2015).

3.2. Tipos de Aguas Residuales

Las aguas suelen ser clasificadas según el lugar proveniente, según la cantidad de características físicas, químicas y biológicas. Las aguas residuales se clasifican en débil, media o fuerte (Villacreses, 2015).

Tabla 1: Clasificación de Aguas Residuales

Según	Tipo	Definición
Lugar Proveniente	Domésticas	Utilizadas con fines higiénicos con presencia de grasas, detergentes, materia orgánica.
	Industriales	Líquidos generados por procesos industriales.
	Infiltración	Aguas que penetran en el sistema de alcantarillado a través de las uniones de tuberías.
	Pluviales	Acumulación de aguas lluvia que son descargadas sobre el suelo.
Características	Físicas	Sólidos Totales: representa la materia como residuo de evaporación provenientes del agua de suministro e infiltración de pozos locales o aguas subterráneas. (mg/l)
		Temperatura: -Dependerá de acuerdo al lugar, hora y época del año. -Será menos soluble en agua caliente que en agua fría. -Dependiendo de su disposición generará cambios en el ecosistema.
		Color: varía de gris a negro dependiendo la actividad bacteriana, así como el tiempo.

Olor: se debe a la presencia de sustancias, gases, actividad bacteriana que, dependiendo del tiempo de empozamiento, será más fuerte e insoportable.

Conductividad Eléctrica: capacidad de una sustancia para conducir corriente eléctrica. (micro Siemens)

Turbidez: medida del grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez. Es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad. (Unidades de Turbidez)

Materia Orgánica: son residuos suspendidos filtrables cuyas sustancias pueden ser:

- Proteínas encontradas en plantas y animales.
- Carbohidratos pertenecientes a los azúcares.
- Grasas Y Aceites Que se descomponen fácilmente por bacterias.

Materia Inorgánica: residuos que permanecen en el agua después de haber sido evaporada como:

- pH indica la concentración del ion de Hidrógeno. (adimensional)
- Cloruros proceden de la disolución natural de rocas o suelos.
- Alcalinidad se debe a la presencia de carbonatos o hidróxidos.
- Nitrógeno cuya actividad bacteriana lo transforma en amoníaco.
- Fósforo fundamental para el crecimiento de organismos biológicos.
- Azufre se libera debido a la degradación de proteínas.
- Compuestos Tóxicos resultantes de procesos industriales.
- Metales Pesados constituyen muchas aguas.

Químicas

Gases: son encontrados en el agua residual que carece de un tratamiento adecuado como:

- Oxígeno disuelto utilizado para la respiración de los microorganismos evitando los olores desagradables.
- Sulfuro de Hidrógeno utilizado para la descomposición de la materia orgánica.
- Metano Subproducto debido a la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Microorganismos: organismos eucariotas, unicelulares o pluricelulares muy sencillos sin tejidos diferenciados. (Protistas)

Biológicas

Bacterias: consumen alimentos solubles presentes en lugares húmedos.

Hongos: crecen con muy poca humedad tolerando un pH relativamente bajo.

Algas: producen oxígeno a partir del proceso de fotosíntesis.

Rotíferos: consumen bacterias dispersas o pequeñas partículas de materia orgánica.

Virus: productores de enfermedades que se presentan en las heces humanas.

Fuente: Barros, 2021

3.3. Contaminantes en Aguas Residuales

En las aguas residuales se presentan nuevos contaminantes que se denominan contaminantes orgánicos emergentes que representan un riesgo para los seres vivos. En la **Tabla 2** se presentan los contaminantes principales que se encuentran usualmente en el medio ambiente y su relación con la salud (Maroneze et al., 2014).

Tabla 2: Presencia de Contaminantes y Efectos en la Salud

Contaminantes	Usos	Efectos en la Salud de los Seres Vivos
Fármacos	Esteroides y anticonceptivos.	Feminización
	Antibióticos	Alteración en la cadena trófica.
Aditivos industriales	Bisfenol (plásticos)	Aumento de riesgo de cáncer de mama, actividad estrogénica.
	Ftalatos (juguetes para bebés, pisos)	Alteraciones en embarazo produciendo abortos involuntarios.
	Alquilfenoles (detergentes)	Alteraciones en el desarrollo del proceso reproductivo.
Productos de higiene y cuidado personal	Fragancias	Enfermedades cancerígenas en roedores
	Parabenos (bactericidas, Antifúngicos)	Actividad estrogénica
	Desinfectantes y antisépticos	Resistencia microbiana y biocida
Surfactantes	Compuestos perfluorados	Enfermedades cancerígenas

Fuente: Barros, 2021

3.4. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Los sistemas de tratamiento son estructuras que constan de un conjunto de subestructuras que poseen operaciones físicas, biológicas y químicas con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de contaminantes posibles antes de su disposición final o reutilización. Estas operaciones se emplean debido a los componentes del agua contaminada que suelen resistir algunos

tratamientos, por lo que se debe conocer los diferentes sistemas con el fin de elegir la mejor alternativa capaz de adaptarse a las necesidades (Montero, 2017).

3.5. Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales

En el diseño de las depuradoras convencionales para el tratamiento de aguas residuales se logran distinguir dos tipos de líneas de tratamiento:

- **Línea de agua:** son aquellos que incluyen todos los procesos que permiten reducir o eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales provenientes de conglomerados urbanos.
- **Línea de fangos:** son aquellas tratadas de los subproductos en la línea de agua.

3.6. Procesos Físicos y Químicos

Los procesos físicos que suceden dentro de una planta de depuración consisten en la aplicación de fenómenos físicos como las fuerzas gravitatorias, centrífuga, de retención y cohesión; mientras que los procesos químicos son aquellos provocados por la adición de productos químicos para eliminar la contaminación (Rezania et al., 2015).

El tratamiento fisicoquímico consta de 2 etapas coagulación y floculación. La primera fase consigue que los materiales coloidales y en suspensión sean separados del agua tratada. La segunda etapa consiste en añadir reactivos químicos (coagulantes, floculantes, neutralizadores de pH) modificando la estructura química produciendo precipitación de componentes que se encontraban disueltos en el agua (Rezania et al., 2015).

3.7. Definición de Microplásticos.

Los microplásticos son partículas sólidas de un tamaño inferior a 5 mm que no son solubles en el agua y su degradabilidad es muy baja conformado por un grupo de materiales sintéticos que son producidos a partir de polímeros derivados del petróleo provenientes de aguas residuales, desechos sólidos o resultantes de la fragmentación de plásticos transportados por viento, lluvia, nieve y escorrentías (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas,

2016).

3.8. Tipos de Microplásticos.

Los microplásticos se subdividen comúnmente en pequeños (menores a 1 mm de diámetro) y en grandes (1 a 5mm de diámetro) se clasifican por separado de los mesoplásticos (5mm a 2.5cm). Son inherentemente tóxicos para los organismos acuáticos y suelen actuar como portador de una amplia gama de contaminantes, pueden presentar riesgos para la salud humana. Sus fuentes principales son terrestres, aguas residuales utilizados como compost en lombrices utilizados para riegos de cultivos, lo que provoca una reducción en la fertilidad, los animales cercana a estas fuentes podrían absorber los microplásticos, la movilidad dependerá del tamaño del plástico o del tipo de suelo, es de aquí que muchos desembocan en ríos y por ende a los océanos (Scheurer & Bigalke, 2018).

3.9. Técnicas de Separación De Microplásticos.

Existen algunas técnicas de separación de microplásticos de muestras dentro de un laboratorio como clasificación visual, filtración, tamizado, separación por densidad, elutriación, flotación y digestión química (Gómez, 2018).

3.9.1. Detección Visual y Separación

Esta técnica se la debe realizar siempre después de obtener una muestra y se la puede realizar a simple vista (<5mm) o mediante microscopio binocular, el objetivo es la eliminación de escombros como fragmentos orgánicos producidos naturalmente (algas, madera); contaminantes antropogénicos como metales, pinturas o aceites (Crawford & Quinn, 2017).

3.9.2. Filtración

Es un método físico – mecánico para separar sólidos de fluidos mediante filtros a través del cual solo el fluido puede pasar, se puede utilizar un embudo, material filtrante (papel) similar a un sistema de vacío, dependiendo el tamaño del mecanismo se retendrán partículas de diferentes diámetros, sin embargo, éste tipo de técnicas usualmente poseen algunas

complicaciones por la contaminación de la muestra con partículas como desechos que obstruyen los filtros y reducen la efectividad de los componentes, para evitar estos problemas se debe reducir el volumen del líquido agregando un paso de limpieza del filtro (Crawford & Quinn, 2017).

3.9.3. Tamizado

Los coladores logran capturar físicamente a los microplásticos permitiendo que el agua se pierda en la muestra, al igual que la técnica anterior el tamaño de las partículas retenidas dependerán del tamaño de los tamices a usarse, pero no debe exceder los 5mm. Uno de los métodos más utilizado es el tamizado de múltiples niveles que separa el material de diferentes tamaños a través de una serie de tamices con tamaños de mallas decrecientes (Crawford & Quinn, 2017).

3.9.4. Elutriación

Esta técnica separa las partículas en función del tamaño, forma y densidad usando una corriente de gas o líquido la cual fluye en dirección contraria a la dirección de sedimentación (Crawford & Quinn, 2017).

3.9.5. Flotación por Espuma

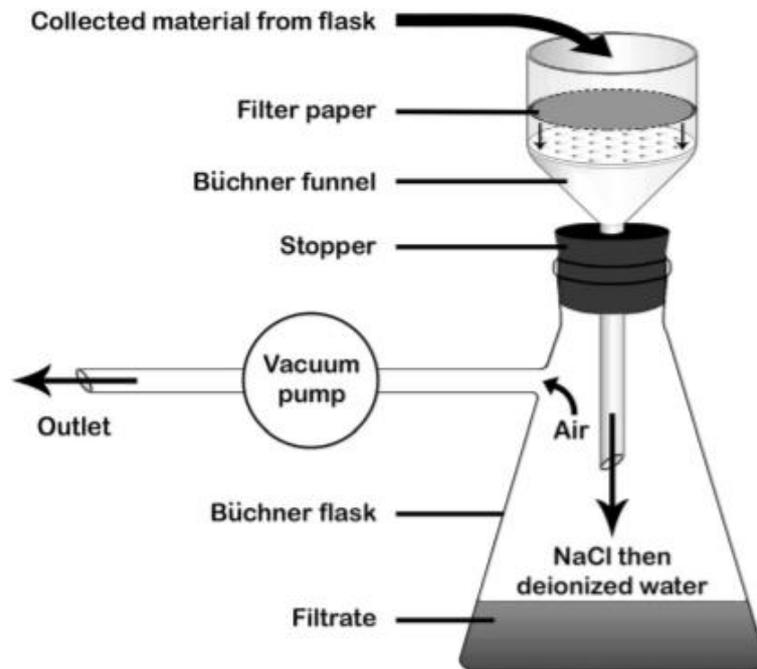
Este proceso separa todos los materiales de la muestra en función de si son hidrofóbicos o si tienen afinidad con el agua, es una técnica efectiva, sin embargo, se debe contar con factores como la energía libre de superficie de los microplásticos, superficie de tensión del líquido y la tensión superficial crítica (Crawford & Quinn, 2017).

3.9.6. Separación por Densidad

Se utiliza para la separación de sedimentos, se coloca en un líquido de densidad intermedia (agua, solución salina), así el líquido de densidad menor que la del líquido flotará mientras que el material pesado se hundirá, siendo esta técnica uno de los más utilizados debido a su eficacia debido al líquido utilizado (cloruro de sodio o solución de sal), se debe evitar el

contacto innecesario de la muestra con la atmósfera para evitar una mayor contaminación. La mayor cantidad de los plásticos no son polímeros puros ya que logran mezclarse con otros materiales que se plastifican y modifican por el impacto, los aditivos pueden llegar a alterar la densidad de estos plásticos (Crawford & Quinn, 2017).

Figura 2: Técnica para Separación por Densidad



Fuente: Crawford & Quinn, 2017

3.10. Reactivos Utilizados en la Separación de Microplásticos

Mediante la revisión bibliográfica se ha descrito que mediante la separación por densidad los microplásticos menos densos flotan hacia la superficie, mientras que la materia inorgánica mineral y otros contaminantes sedimentan mediante el uso de la solución saturada de Yoduro de Sodio, Cloruro de zinc, Politungstato de Sodio y Metatungstato de Litio (Torres, 2017).

Si la muestra contiene plásticos de baja densidad la solución podría ser una mezcla de etanol y agua destilada, sin embargo, esta solución servirá para casos específicos ya que para plásticos de alta densidad necesitaremos otras combinaciones que dependerán del residuo a tratar, así como vemos en la **Tabla 3** que se describe a continuación.

Tabla 3: Rango de Densidad de Plásticos Comunes

Plásticos Comunes	Densidad (g/cm³)
Poliestireno (espuma expandida)	0.01 - 0.05
Poliestireno (espuma extruida)	0.03 - 0.05
Policloropreno (neopreno) (espumado)	0.11 - 0.56
Polipropileno (modificado por impacto)	0.88 - 0.91
Polipropileno (homopolímero)	0.90 - 0.91
Polipropileno (copolímero)	
Polietileno de baja densidad	0.92 - 0.94
Polietileno lineal de baja densidad	0.92 - 0.95
Polietileno de alta densidad	0.94 - 0.97
Polipropileno (10-20% de fibra de vidrio)	0.97 - 1.05
Poliestireno (cristal)	1.04 - 1.05
Poliestireno (calor alto)	
Acrilonitrilo butadieno estireno (alto impacto)	1.00 - 1.10
Acrilonitrilo butadieno estireno (alto calor)	1.00 - 1.15
Nylon 6,6 (modificado contra impactos)	1.05 - 1.10
Polipropileno (10–40% relleno de minerales)	0.97 - 1.25
Polipropileno (10–40% de talco)	
Acrilonitrilo butadieno estireno	1.03 - 1.21
Nilón 6	1.12 - 1.14
Nilón 6,6	1.13 - 1.15
Poli (metacrilato de metilo) (modificado contra impactos)	1.10 - 1.20
Polipropileno (30-40% fibra de vidrio)	1.10 - 1.23
Policarbonato (calor alto)	1.15 - 1.20
Acrilonitrilo butadieno estireno (retardante de llama)	
Poli (metacrilato de metilo)	1.17 - 1.20
Poli (metacrilato de metilo) (alta temperatura)	1.15 - 1.25
Policloropreno (neopreno) (sólido)	1.20 - 1.24
Cloruro de polivinilo (plastificado y relleno)	1.15 - 1.35
Nylon 6,6 (modificado contra impactos y 15-30% de fibra de vidrio)	1.25 - 1.35
Tereftalato de polietileno	1.30 - 1.40
Nylon 6,6 (30% relleno de minerales)	1.35 - 1.38
Nylon 6,6 (30% fibra de vidrio)	1.37 - 1.38
Cloruro de polivinilo (rígido)	1.35 - 1.50
Policarbonato (20 a 40% de fibra de vidrio)	1.35 - 1.52
Tereftalato de polietileno (30% de fibra de vidrio y modificado contra impactos)	1.40 - 1.50
Poliestireno (30% fibra de vidrio)	
Policarbonato (20 a 40% de fibra de vidrio y retardante de llama)	
Cloruro de polivinilo (20% fibra de vidrio)	1.45 - 1.50

Cloruro de polivinilo (plastificado)	1.30 - 1.70
Tereftalato de polietileno (30% fibra de vidrio)	1.50 - 1.60
Politetrafluoroetileno	2.10 - 2.20
Politetrafluoroetileno (25% fibra de vidrio)	2.20 - 2.30

Fuente: Barros, 2021

Para garantizar la remoción de plásticos pesados se necesita líquidos pesados las cuales se muestran en la **Tabla 4** dependiendo de la densidad que se requiera, por otro lado, si se utiliza un líquido con densidad muy alta los sedimentos flotarán a la superficie ocasionando que la separación es ineficaz.

Tabla 4: Líquidos Pesados Para Separación de Plásticos Comunes

Solución Salina	Fórmula Química	Densidad (g/cm ³)	pH Óptimo
Politungstato de Sodio	N/A ₆ (H ₂ W ₁₂ O ₄₀)	1.4	8 – 9
Cloruro de Zinc	Zn Cl ₂	1.5 - 1.7	2 – 7
Yoduro de Sodio	Na I	1.8	2 - 13

Fuente: Barros, 2021

3.11. Límites Permisibles De Agua Residuales

De acuerdo con Secretaría Nacional Del Agua (2011) los límites permisibles para las descargas de efluentes los podemos observar en la **Tabla 5**, además la OMS cita que el agua debe poseer una turbidez menor a 5 UNT, una conductividad eléctrica menor a 30 µS, los sólidos totales disueltos menores a 1000 mg/L para ser considerado un líquido de buena calidad aceptable para los usuarios (Gorchev & Ozolins, 1984).

Tabla 5: Límites Permisibles De Descarga del Sistema de Alcantarillado

Parámetros	Unidad	Límite Máximo
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	500
Materia Flotante	-	Ausencia
Potencial de Hidrógeno	-	5 - 9
Sólidos Sedimentables	ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	220
Sólidos Totales	mg/l	1600

Fuente: Secretaría Nacional Del Agua, 2011

Según las normas INEN (2013) e Instituto de Toxicología de la Defensa (2016) explican las consideraciones así como el procedimiento necesario para la recolección de aguas.

3.11.1. Consideraciones generales para toma de muestra de aguas residuales:

- Es primordial que los recipientes a utilizar para la toma de muestras se encuentren secos y limpios.
- En caso de que el recipiente a utilizar no contenga conservante o algún tipo de colorante antes de llenarlo es recomendable lavar de 2 o 3 veces con el agua que se va a recoger.
- Los envases deben llevar una correcta rotulación mostrando en su contenido (numero/nombre/fecha/hora) debido a que puede existir correcciones ya sea por deterioro o cambios.
- Los recipientes más recomendables para utilizar son los de plástico de polietileno o politetrafluoroetileno únicamente en casos especiales como en compuestos orgánicos volátiles la muestra podrá ser tomada en recipientes de vidrio.
- El llenado del recipiente debe siempre respetar un espacio pequeño para permitir la expansión térmica en caso de que exista transportación, en casos excepcionales como por ejemplo en compuestos orgánicos volátiles el llenado es completo para que no exista cámara de aire.
- El recipiente debe estar debidamente cerrado y asegurándonos que no exista pérdida de estas.
- El envío de la muestra debe ser lo más rápido posible conservando esencialmente a una temperatura de refrigeración de -4.
- Se recomienda evitar la contaminación de las muestras debido que algunas muestras están propensas a lectura de actividad en el sol o aire permanente por lo que se debe seguir instrucciones de conservación.
- Los documentos tanto de petición y transporte de muestra deben estar debida y

completamente llenados para obtener información necesaria.

3.11.2. Procedimiento Para Recolección De Aguas Residuales

Tabla 6: Procedimiento Manual

Descripción	Imagen
Se procede a tomar la muestra en el recipiente y se debe establecer el tiempo a la siguiente toma de muestra.	
La muestra se coloca en el recipiente marcado según los tiempos de muestreo.	
Posteriormente se consiguiere una muestra compuesta tomada en un tiempo de X horas debidamente refrigerada.	
Se dará seguimiento en el documento todas las operaciones realizadas con la muestra.	

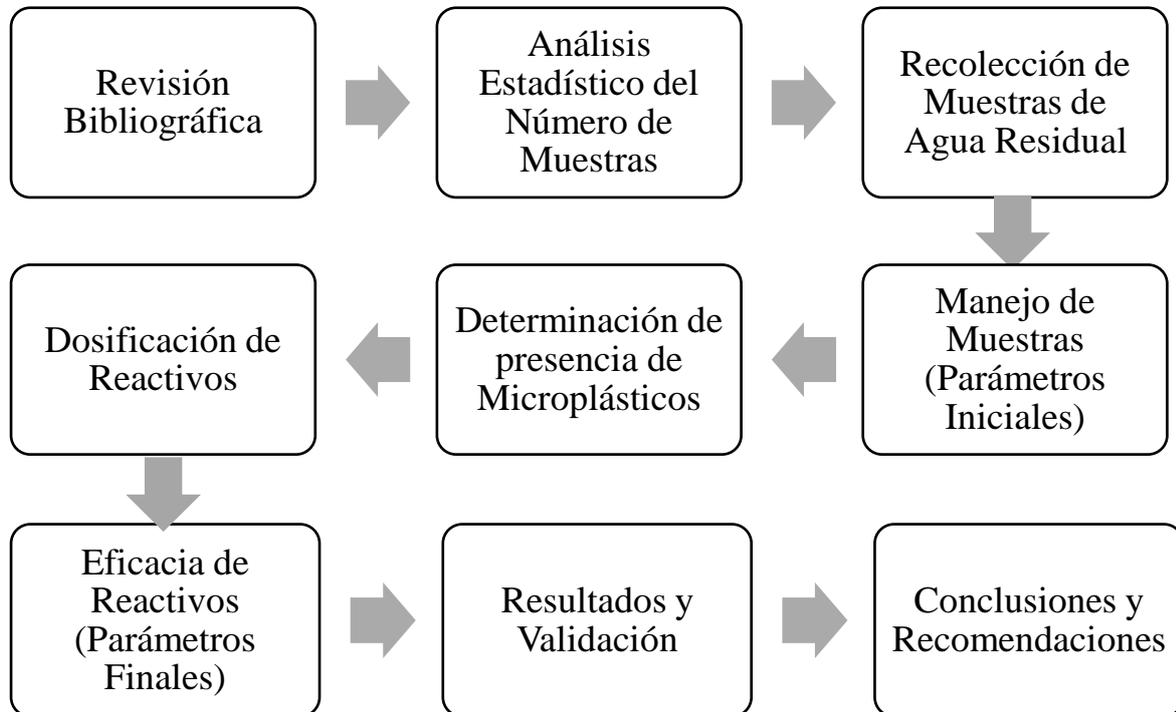
Fuente: Instituto de Toxicología de la Defensa, 2016

3.12. Prueba de Jarras

La prueba de jarras es un ensayo realizado en laboratorio que simula el proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento en el cual se utiliza procesos de mezcla rápida y lenta, con la combinación de coagulantes o floculantes, además de la combinación adecuada. El ensayo consiste en la colocación de la muestra a ser tratada en aproximadamente 5 o 6 vasos de precipitación con una capacidad de 1 a 3 litros, de los cuales se agrega la dosis óptima de coagulante mientras es agitado rápidamente, una vez concluido este proceso se agita de manera lenta por un tiempo variable de 10 a 30 minutos en los cuales se podrá observar los cambios suscitados en cada muestra (Jiménez et al., 2017).

4. METODOLOGÍA

Figura 3: Diagrama de Metodología



Fuente: Barros, 2021

En la investigación se empleó el diseño documental, la revisión bibliográfica se basó en artículos científicos que ayudó a relacionar los objetivos y alcance del proyecto de investigación con la problemática de la presencia de microplásticos en el ambiente, se utilizó bases de datos como Scopus, Scielo, ScienceDirect, Google Scholar, Tesis encontradas en los repositorios de Universidades, libros, entre otros.

Para la determinación de la muestra se utilizó la base de datos que la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EP EMAPAR) facilitó. Esta información corresponde a la recolección de aguas residuales públicas (descargas) que existen en la ciudad, los datos se pueden ver en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Descargas del Sistema de Alcantarillado

No. Descarga	Coordenada Norte	Coordenada Este	Lugar Descarga	Referencia	Observación
1	9815583.42	758446.37	Río Chibunga	Ricpamba	Existente
2	9815228.05	759411.62	Río Chibunga	Quinta Macají	Existente
3	-	-	Río Chibunga	Quinta Macají	No existe
4	9815101.28	759492.15	Río Chibunga	Puente Hacia Barrio El Batán	Existente
5	-	-	Río Chibunga	Complejo Deportivo Olmedo	No existe
6	-	-	Río Chibunga	Ministerio de Agricultura y Ganadería	No existe
7	9814754.74	759774.56	Río Chibunga	Talleres del Consejo Provincial	Existente
8	-	-	Río Chibunga	Talleres del Consejo Provincial	No existe
9	9813891.12	760053.80	Río Chibunga	Puente hacia Yaruqués	Existente
10	9813877.63	760075.87	Río Chibunga	Puente hacia Yaruqués	Poco Efluente
11	-	-	Río Chibunga	Quebrada San Ignacio	No existe
12	9813460.05	761088.59	Río Chibunga	Parque Ecológico	Existente
13	9812859.60	761724.00	Río Chibunga	Parque Ecológico	Existente
14	-	-	Río Chibunga	Puente Vía San Luis - Cebadas	No existe
15	9810931.79	761765.81	Río Chibunga	San Luis	Existente
16	9810783.61	761929.55	Río Chibunga	San Luis	Poco Efluente
17	9810525.85	762282.54	Río Chibunga	San Luis	Poco Efluente
18	9812119.43	761625.43	Río Chibunga	Tratamiento de Aguas	Existente
19	9810360.64	764773.38	Río Chambo	Licto	Destruídas
20	9810498.37	765599.94	Río Chambo	Chambo	Destruídas

Fuente: Barros, 2021

Mediante un recorrido técnico en campo se determinó 20 descargas, de éstas 6 no existen, 3 tienen poco efluente para una muestra representativa y 2 están destruidas, resultando

únicamente 9 descargas aptas para el desarrollo de la investigación. El número de muestras se obtuvo utilizando la fórmula de muestreo probabilístico:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2} \div \left(1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right) \right)$$

En donde:

- N = tamaño de la población
- e = margen de error.
- p = probabilidad de éxito.
- z = puntuación z.

Con una probabilidad de éxito de 95% y el 5% de margen de error, se calculó un tamaño de muestra de 8 descargas, de cada muestra se tomó un volumen total de 2 litros.

Según lo recomendado por INEN (2013) e Instituto de Toxicología de la Defensa (2016) se utilizó la ficha técnica para el muestreo en las descargas (*Ver Anexo 1*).

Mediante el método de decisión multicriterio Analytic Hierarchy Process (AHP), se consideró 4 alternativas de reactivos para aplicar la técnica de separación de microplásticos por densidad (Crawford & Quinn, 2017), de los diferentes reactivos que se encuentra en el mercado se descartaron los que por disponibilidad no se encontró en el laboratorio de aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

Se consideró precio, disponibilidad, velocidad de respuesta en el mercado y densidad como criterios de evaluación, como se puede ver en la *Tabla 8*.

Tabla 8: Criterios para decisión de reactivos

	Precio \$/g	Disponibilidad	Velocidad de Respuesta (días)	Densidad (g/cm ³)
Yoduro de Sodio	1.31	Alta	2	1.8
Cloruro de Zinc	0.10	Alta	5	1.5 - 1.7
Politungtato de Sodio	2.77	Media	15	1.4

Metatungstato de Litio	5.80	Baja	45	1.6
-------------------------------	------	------	----	-----

Fuente: Barros, 2021

El resultado del método AHP permitió tomar la decisión de usar los reactivos: Yoduro de Sodio, Cloruro de Zinc, y Politungstato de Sodio. (*Ver Anexo 2*)

En el laboratorio se midió el pH de la muestra y se utilizó el potenciómetro (*Ver Anexo 4*). La conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos por medio del conductivímetro (*Ver Anexo 5*), para la turbidez se usó el turbidímetro (*Ver Anexo 6*).

Se vertió 250 ml de agua de muestra mediante filtración al vacío (*Ver Anexo 7*) a través de un filtro de celulosa de 47 mm de diámetro con un tamaño de poro de 2 a 4 μm , se ubicó dicho filtro en una caja Petri etiquetada para visualizar microplásticos con la rosa de bengala (*Ver Anexo 8*).

Se añadió 1 ml de rosa de bengala (5mg/l). La rosa de Bengala se adsorbe en la superficie de los plásticos, pero no en los materiales naturales, y emite fluorescencia que ayuda a la identificación de microplásticos (*Ver Anexo 9*).

Se degradó diferentes tipos de plásticos (*Ver Anexo 3*) con diferentes tamaños clasificando en 3 tamizadores: 0.15 – 0.20 – 0.30 mm, agregándolos a las muestras en concentración de 1 g/l, esto garantiza que a pesar de encontrar microplásticos en la muestra, incrementa la cantidad de este contaminante para comprobar una mejor retención.

Después de 5 minutos de secado, se utilizó un Estereoscopio (*Ver Anexo 10*), y una cámara UV (*Ver Anexo 11*) para visualizar mediante fluorescencia los microplásticos y garantizar que no existan partículas contaminantes.

Se desarrolló un método de experimentación para calcular la eficacia de los reactivos usando el siguiente proceso, la dosificación fue a base de experimentación prueba y error para garantizar la función de los reactivos para eliminar microplásticos.

- Se preparó una solución concentrada y disolver el reactivo en 100 ml de agua destilada.
- Se pesó una submuestra del líquido que contiene microplásticos (250 ml – 1l)

- Se agregó la solución concentrada de reactivo y la submuestra al vaso de precipitados (250 ml – 1l).
- Se aplicó la prueba de jarras y se observó suspensión y sedimentación de los microplásticos.
- Se midió con los equipos los parámetros de la muestra para la comparación inicio – final.
- Se filtró nuevamente al vacío a través del filtro de celulosa y se secó en un tiempo de 2 horas para eliminar la humedad.
- Se midió la masa de los microplásticos retenidos en el filtro de celulosa, se usó una balanza.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La toma de muestras se realizó en los puntos de concentración de descargas de efluentes, se utilizó las fichas de campo (*Ver Anexo 12*).

Debido a la pandemia del virus SARS COV 2, los proveedores de reactivos no disponen la cantidad necesaria para investigaciones, por lo que se redujo el número de muestras a 4 para la comprobación de eficacia del reactivo.

Con las muestras restantes se combinó el volumen para obtener una cantidad de 6 litros (*Tabla 9*), se dosificó el reactivo eficiente en menores concentraciones (2% - 1% - 0.5% - 0.3%) a un volumen mayor (1 l) para que el método pueda usarse en un futuro en el diseño de una planta de tratamiento sin representar alto costo por uso de reactivos.

Tabla 9: Muestras Para Experimentación

No. Descarga	Referencia	No. Muestra	Volumen (l)
1	Ricpamba	1	2
2	Quinta Macají	2	2
4	Puente Hacia Barrio El Batán	3	2
12	Parque Ecológico	4	2
9,13,15,18	Combinación	5	6

Fuente: Barros, 2021

Se encontró los parámetros iniciales sin agregar microplásticos degradados:

Tabla 10: Parámetros Iniciales De Las Muestras

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
pH	7.58	7.23	7.75	7.39
Conductividad Eléctrica (µS)	1545	1079	1943	1712
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	928	631	1172	1025
Turbidez (UNT)	67	62	27	89

Fuente: Barros, 2021

La descarga ubicada en el puente hacia el barrio “El batán” tuvo el mayor número de sólidos totales disueltos que representan los contaminantes de la muestra, sin embargo, la descarga del

Parque Ecológico aparentó ser la más contaminada debido a una alta turbidez (89 UNT) que indica menor calidad del agua.

Se filtró al vacío, se utilizó la rosa de bengala en la celulosa y se identificó la presencia de microplásticos mediante el estereoscopio (*Ver Anexo 20*) y la cámara UV (*Ver Anexo 21*).

Tabla 11: Microplásticos en Muestras

No. Muestra	Presencia de Microplásticos
1	Si
2	Si
3	Si
4	Si
5	Si

Fuente: Barros, 2021

Se realizó una observación directa a los filtros gracias al uso de la rosa de bengala y se encontró presencia de microplásticos en todas las muestras representando el 100%, este resultado está de acuerdo con Paredes (2019) y Cifuentes (2017) que identificaron la presencia de microplásticos en agua residual en la ciudad de Riobamba.

Para una mejor eficacia se debe realizar un tratamiento como lo explica Belzona Inc (2010) con el fin de remover todo contaminante y estudiar de forma aislada los microplásticos.

El microplástico degradado se agregó en concentración de 1g por cada Litro (1% Mps). Los reactivos se agregaron en concentración de 10g (10% reactivo) y 1g (1% reactivo), se disolvió en 100 ml de agua destilada, se calculó las densidades de 1.1 g/ml y 0.99g/ml respectivamente, se añadió 250 ml de muestra para la prueba de jarras durante 30 minutos y se midió los parámetros finales

Tabla 12: Muestra 1 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
pH	7.60	8.01	6.22	8.43
Conductividad Eléctrica (µS)	454.00	5552.00	7452.00	4067.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	1001.00	3390.00	4780.00	2470.00
Masa (Filtración) (g)	0.341	0.010	0.037	0.025
Turbidez (UNT)	245.00	131.00	52.00	89.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 13: Muestra 2 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
pH	7.31	7.74	5.98	7.91
Conductividad Eléctrica (µS)	685.00	7431.00	7972.00	6021.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	685.00	2785.00	3514.00	2401.00
Masa (Filtración) (g)	0.403	0.011	0.048	0.031
Turbidez (UNT)	219.00	138.00	55.00	71.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 14: Muestra 3 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
pH	7.63	8.02	6.47	8.13
Conductividad Eléctrica (µS)	752.00	8021.00	8763.00	7592.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	1301.00	2963.00	3248.00	2836.00
Masa (Filtración) (g)	0.335	0.015	0.043	0.027
Turbidez (UNT)	275.00	143.00	61.00	88.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 15: Muestra 4 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
pH	7.40	7.89	6.14	8.42
Conductividad Eléctrica (µS)	474.00	3670.00	4080.00	3431.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	982.00	3390.00	4780.00	2470.00
Masa (Filtración) (g)	0.224	0.005	0.023	0.017
Turbidez (UNT)	315.00	156.00	65.00	80.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 16: Muestra 1 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
pH	7.60	7.55	5.34	6.94
Conductividad Eléctrica (µS)	454.00	986.00	1482.00	952.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	1001.00	1345.00	1502.00	1273.00
Masa (Filtración) (g)	0.341	0.016	0.046	0.032
Turbidez (UNT)	245.00	124.00	38.00	65.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 17: Muestra 2 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
pH	7.31	7.92	5.71	7.67
Conductividad Eléctrica (µS)	685.00	1892.00	2013.00	1642.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	685.00	754.00	802.00	701.00
Masa (Filtración) (g)	0.403	0.022	0.067	0.035
Turbidez (UNT)	219.00	128.00	39.00	56.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 18: Muestra 3 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
pH	7.63	8.25	6.32	7.85
Conductividad Eléctrica (µS)	752.00	2022.00	2342.00	1952.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	1301.00	1564.00	1761.00	1502.00
Masa (Filtración) (g)	0.335	0.017	0.051	0.031
Turbidez (UNT)	275.00	132.00	43.00	61.00

Fuente: Barros, 2021

Tabla 19: Muestra 4 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
pH	7.40	8.15	6.67	7.73
Conductividad Eléctrica (µS)	474.00	949.00	1286.00	719.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	982.00	1573.00	1767.00	1434.00
Masa (Filtración) (g)	0.22	0.012	0.040	0.022
Turbidez (UNT)	315.00	125.00	23.00	42.00

Fuente: Barros, 2021

Al añadir los microplásticos degradados los valores de conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y turbidez aumentan debido, sin embargo, valores del pH disminuyen debido a la carga eléctrica negativa presente en los microplásticos.

Después de filtrar al vacío, el Cloruro de Zinc fue el encargado de aumentar la cantidad de sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica y la masa del filtro de celulosa. Disminuyó el pH y turbidez de las muestras, lo que significa que se logró la sedimentación y flotación de microplásticos para su posterior eliminación.

Se calculó la eficacia de los reactivos mediante medición de la turbidez que es un parámetro

usado para conocer la calidad de agua para consumo humano ya que no existe alguna norma que nos permita conocer los límites de microplásticos en agua residual, además se calculó el porcentaje de los sólidos retenidos, los reactivos se adhieren a los microplásticos permitiéndonos filtrarlos mediante celulosa y medir la masa de los microplásticos retenidos en los filtros.

La eficacia del reactivo y el porcentaje de los microplásticos retenidos se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\%Eficacia = 100 \% - \left(\frac{\text{Parámetro Inicial}}{\text{Muestra+Reactivo}} * 100 \% \right) \quad (1)$$

$$\%Retenido = \frac{\text{Parámetro Inicial}}{\text{Muestra+Reactivo}} * 100 \% \quad (2)$$

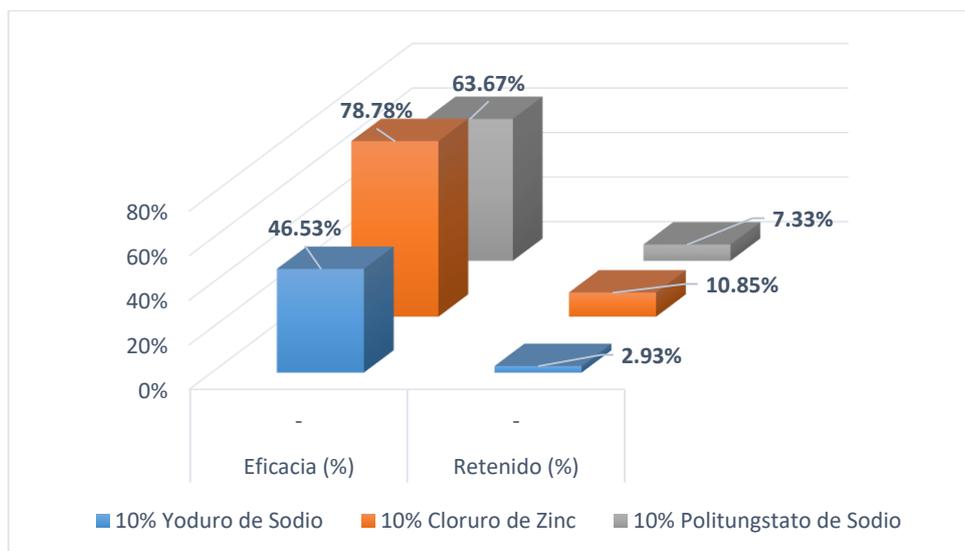
Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 20: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	245.00	131.00	52.00	89.00
Eficacia (%)	-	46.53%	78.78%	63.67%
Masa (g)	0.341	0.010	0.037	0.025
Retenido (%)	-	2.93%	10.85%	7.33%

Fuente: Barros, 2021

Figura 4: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 10% Reactivo



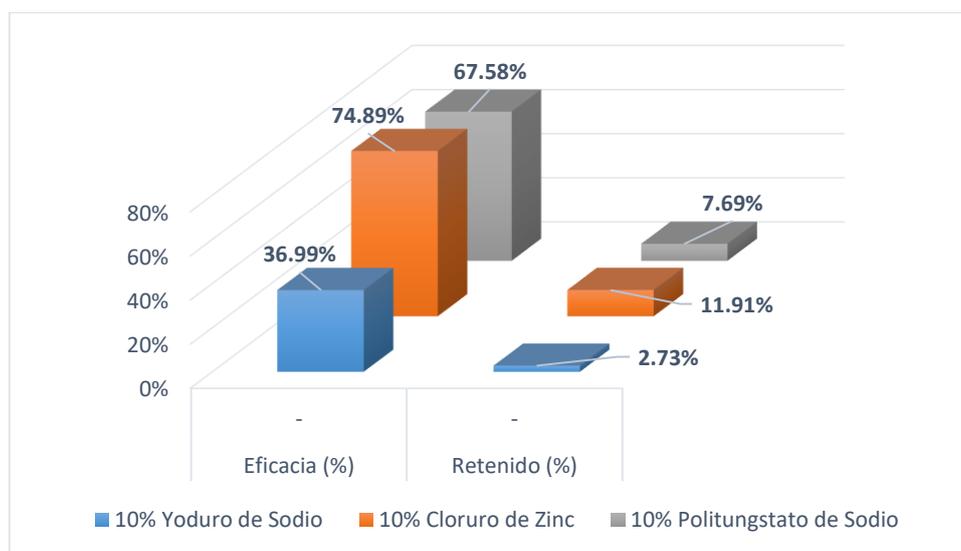
Fuente: Barros, 2021

Tabla 21: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	219.00	138.00	55.00	71.00
Eficacia (%)	-	36.99%	74.89%	67.58%
Masa (g)	0.403	0.011	0.048	0.031
Retenido (%)	-	2.73%	11.91%	7.69%

Fuente: Barros, 2021

Figura 5: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 10% Reactivo



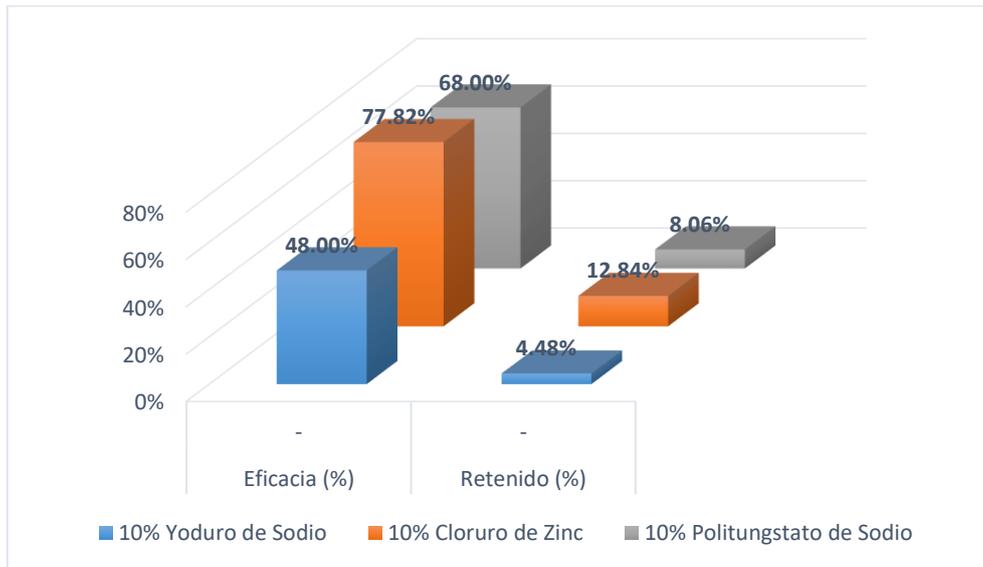
Fuente: Barros, 2021

Tabla 22: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	275.00	143.00	61.00	88.00
Eficacia (%)	-	48.00%	77.82%	68.00%
Masa (g)	0.335	0.015	0.043	0.027
Retenido (%)	-	4.48%	12.84%	8.06%

Fuente: Barros, 2021

Figura 6: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 10% Reactivo



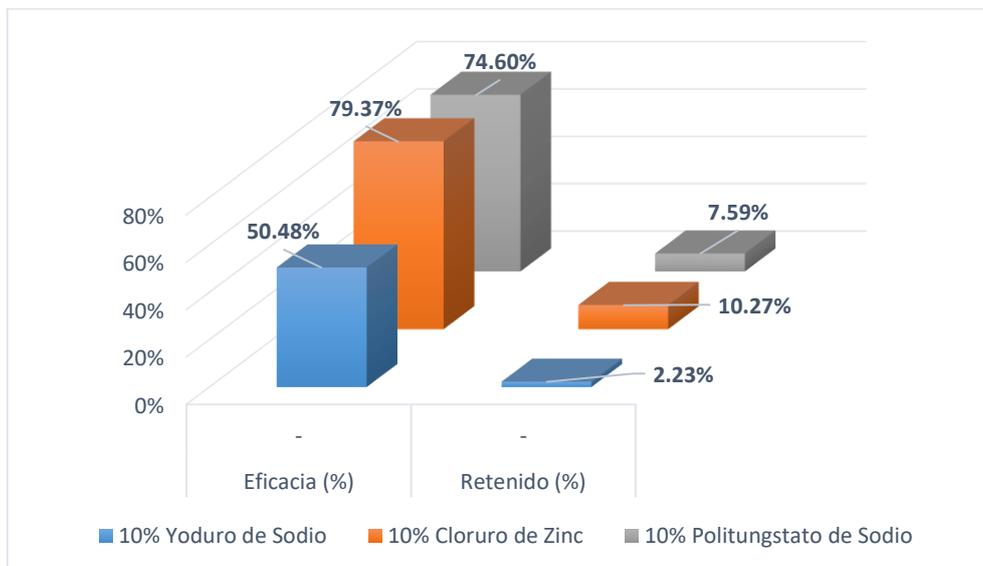
Fuente: Barros, 2021

Tabla 23: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 10% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 10% Yoduro de Sodio	Muestra + 10% Cloruro de Zinc	Muestra + 10% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	315.00	156.00	65.00	80.00
Eficacia (%)	-	50.48%	79.37%	74.60%
Masa (g)	0.224	0.005	0.023	0.017
Retenido (%)	-	2.23%	10.27%	7.59%

Fuente: Barros, 2021

Figura 7: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 10% Reactivo



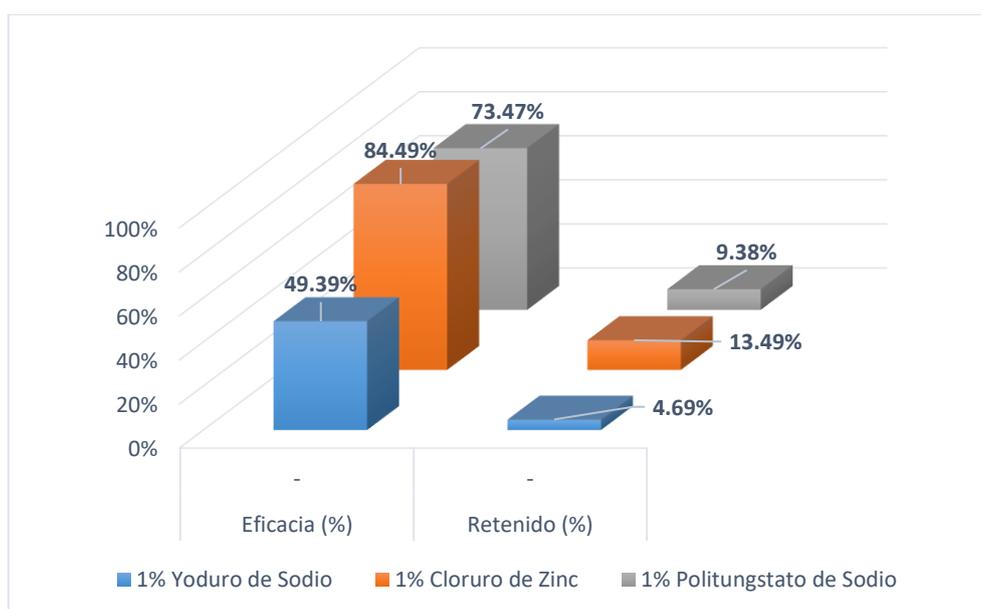
Fuente: Barros, 2021

Tabla 24: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	245.00	124.00	38.00	65.00
Eficacia (%)	-	49.39%	84.49%	73.47%
Masa (g)	0.341	0.016	0.046	0.032
Retenido (%)	-	4.69%	13.49%	9.38%

Fuente: Barros, 2021

Figura 8: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 1 – 1% Reactivo



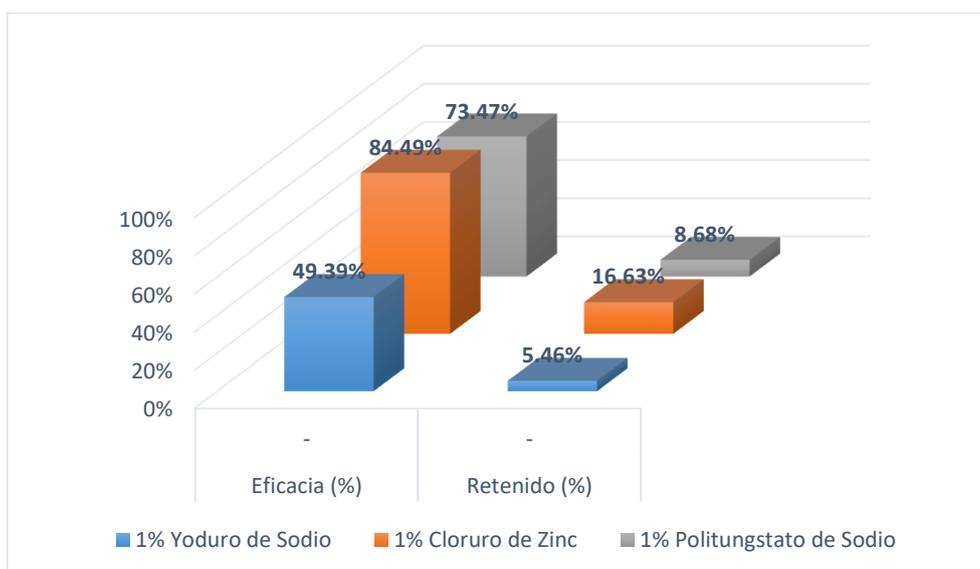
Fuente: Barros, 2021

Tabla 25: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	219.00	128.00	39.00	56.00
Eficacia (%)	-	41.55%	82.19%	74.43%
Masa (g)	0.403	0.022	0.067	0.035
Retenido (%)	-	5.46%	16.63%	8.68%

Fuente: Barros, 2021

Figura 9: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 2 – 1% Reactivo



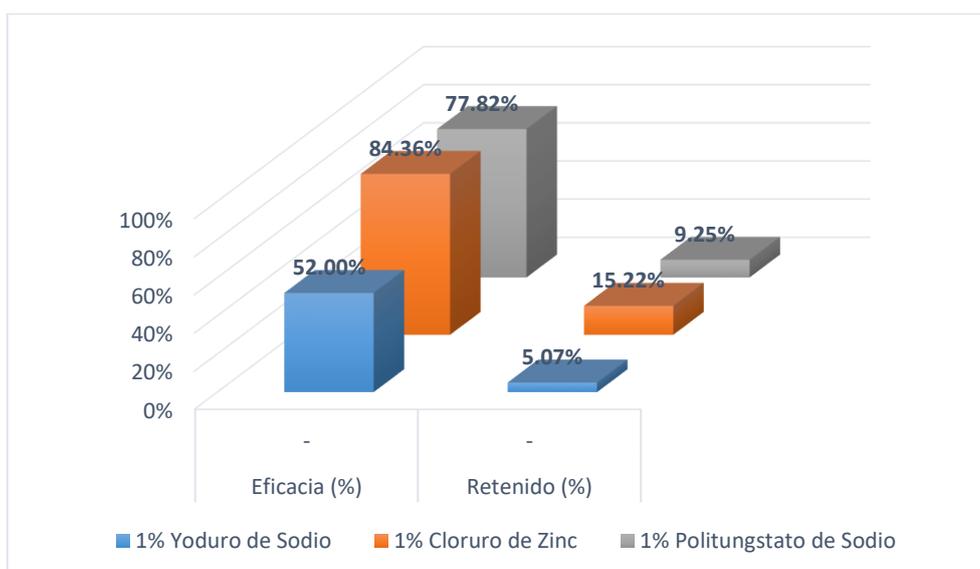
Fuente: Barros, 2021

Tabla 26: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	275.00	132.00	43.00	61.00
Eficacia (%)	-	52.00%	84.36%	77.82%
Masa (g)	0.335	0.017	0.051	0.031
Retenido (%)	-	5.07%	15.22%	9.25%

Fuente: Barros, 2021

Figura 10: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 3 – 1% Reactivo



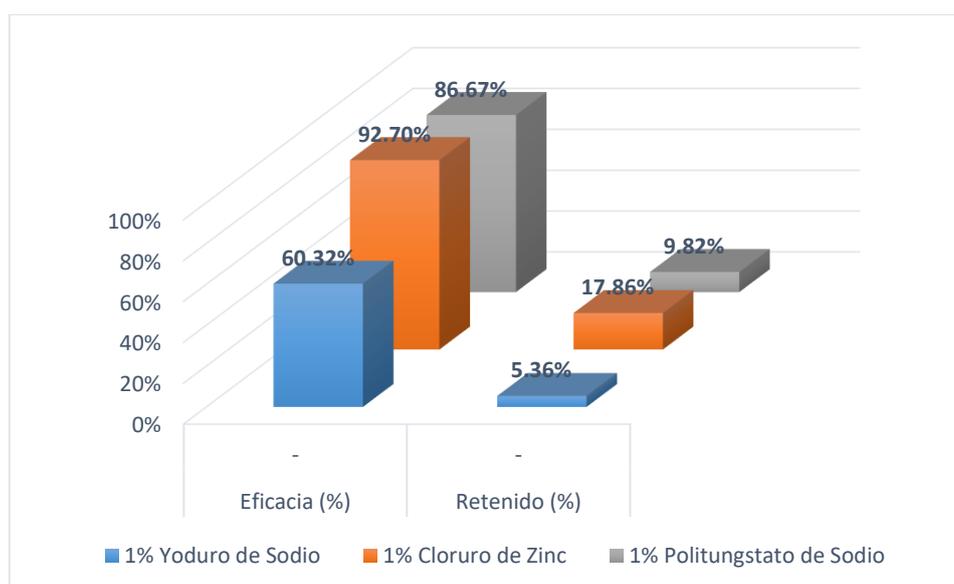
Fuente: Barros, 2021

Tabla 27: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 1% Reactivo

Parámetro	Muestra Inicial	Muestra + 1% Yoduro de Sodio	Muestra + 1% Cloruro de Zinc	Muestra + 1% Politungstato de Sodio
Turbidez (UNT)	315.00	125.00	23.00	42.00
Eficacia (%)	-	60.32%	92.70%	86.67%
Masa (g)	0.224	0.012	0.040	0.022
Retenido (%)	-	5.36%	17.86%	9.82%

Fuente: Barros, 2021

Figura 11: Eficacia Del Reactivo y Sólidos Retenidos – Muestra 4 – 1% Reactivo



Fuente: Barros, 2021

La concentración del reactivo sedimentó el microplástico hasta un 17% lo que significa que en su mayoría se eliminaron microplásticos ligeros con una densidad menor a 1g/ml, al usar Cloruro de Zinc representa una mejor eficacia, el Politungstato de Sodio tuvo una eficacia media y el Yoduro de Sodio fue el más deficiente. Este resultado es similar al obtenido por Zhang (2019) y Gutiérrez (2020) que usaron la técnica de separación por densidad de microplásticos, en sus experimentos se observó el aumento de la salinidad de modo que los materiales menos densos (microplásticos) flotaron en la superficie o sedimentaron.

Con el reactivo más eficiente (Cloruro de Zinc) y las muestras combinadas se añadió la misma cantidad de microplásticos y se realizó nuevamente pruebas para conocer la eficacia

del reactivo con las concentraciones de 2g (2%), 1g (1%), 0.5g (0.5%), 0.3g (0.3%), se disolvió en 100 ml de agua destilada, se añadió 1l de muestra y se midió los parámetros de calidad como se puede ver en las tablas a continuación:

Tabla 28: Muestra 5 – 1% Microplásticos – 2% - 1% - 0.5% - 0.3% ZnCl

Parámetro	Muestra Inicial	2% Cloruro De Zinc	1% Cloruro De Zinc	0.5% Cloruro De Zinc	0.3% Cloruro De Zinc
pH	7.60	6.66	6.65	7.00	7.17
Conductividad Eléctrica (µS)	366.00	874.00	604.00	465.00	435.00
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	223.00	531.00	361.00	286.00	260.00
Masa (Filtración) (g)	0.126	0.007	0.008	0.080	0.031
Turbidez (UNT)	180.00	93.00	65.00	23.00	29.00

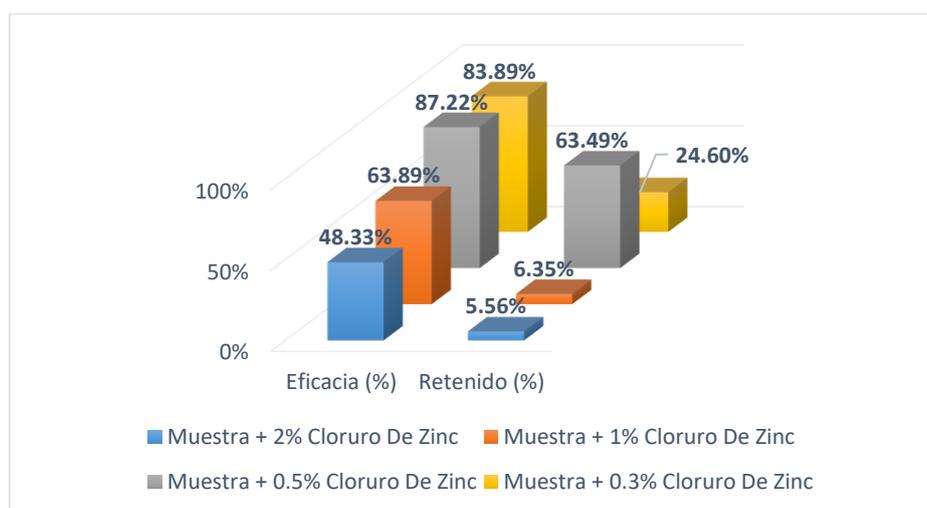
Fuente: Barros, 2021

Tabla 29: Microplásticos en Muestras

Parámetro	Muestra Inicial	2% Cloruro De Zinc	1% Cloruro De Zinc	0.5% Cloruro De Zinc	0.3% Cloruro De Zinc
Turbidez (UNT)	180.00	93.00	65.00	23.00	29.00
Eficacia (%)	-	48.33%	63.89%	87.22%	83.89%
Masa (g)	0.126	0.007	0.008	0.080	0.031
Retenido (%)	-	5.56%	6.35%	63.49%	24.60%

Fuente: Barros, 2021

Figura 12: Eficacia Del Reactivo ZnCl y Sólidos Retenidos – Muestra 5



Fuente: Barros, 2021

Se encontró la concentración óptima en 0.5 g/l, se obtuvo una eficacia de 87.22% considerando la turbidez y se eliminó el 63.49% de los microplásticos de la muestra.

Esta investigación es una vista hacia el futuro ya que investigaciones probaron el daño de los microplásticos en la salud humana (Bollaín Pastor & Vicente Agulló, 2019) y la biota marina (López-Monroy & Fermín, 2019) (Elías, 2017), contaminando de manera escandalosa y ascendente cada año como lo reporta Plastics Europe & Conversio Market & Strategy GmbH (2019) para que se pueda considerar en las plantas de tratamiento la eliminación de este contaminante mediante los procesos unitarios descritos en esta investigación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Mediante la aplicación de la rosa de bengala se concluyó que en las 5 muestras de agua residual provenientes del sistema de alcantarillado se identificó mediante el estereoscopio y la cámara ultravioleta presencia de microplásticos, lo que representa el 100% del total de muestras analizadas en el laboratorio, siendo la más contaminada la descarga del Parque Ecológico. (Muestra 4)
- Al no existir en la actualidad parámetros de control con relación a concentraciones de microplásticos y su eliminación se tomó en cuenta la variación de turbidez, parámetro que es importante por la OMS para conocer la calidad de agua para consumo humano, además de sólidos retenidos mediante los filtros considerando que la masa encontrada no únicamente representa microplásticos ya que existen otros tipos de contaminantes.
- Las 4 muestras en las que se analizó una concentración de 10 g y 1 g en 250 ml indican que se tiene una eficacia al utilizar el reactivo Cloruro de Zinc hasta un 80% y un 92% en las concentraciones anteriormente descritas, además de eliminar los microplásticos en un 12% y hasta 18%.
- Al utilizar las muestras combinadas se encontró una correcta dosificación del reactivo Cloruro de Zinc, se calculó la eficacia de 87.22% y microplásticos retenidos de 63.49%, donde se aplicó una concentración de 0.5g en 1l de muestra.
- Los microplásticos representan un riesgo en la ciudad de Riobamba, así como a la provincia de Chimborazo y en general a todo el territorio ecuatoriano ya que no existe una norma que limite concentraciones de microplásticos y procesos de eliminación en plantas de tratamiento que impidan la contaminación.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar muestras compuestas en diferentes horas para el análisis que permita obtener la realidad de concentraciones de microplástico que existe en la ciudad de Riobamba, además de prever tratamientos que permitan eliminar todos los microplásticos, así como utilizar el menor número de muestras debido a la inexistencia de reactivo suficiente que permita continuar con investigaciones futuras.
- La técnica de separación por densidad para eliminación de microplásticos podrá ser usada en el diseño de un EDAR por medio de tratamientos convencionales para frenar la contaminación progresiva y el daño a la salud de los seres vivos.
- Se debe cuidar las muestras para que no exista una contaminación del exterior debido a contaminantes volátiles que sucede cuando los filtros de celulosa son secados en el horno, así como cuidar la dispersión de microplásticos mediante el aire al ser manipulados para medir la masa de los filtros.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aurelius. (2019). Determinación de la presencia de microplásticos en bebidas refrescantes. *Duke Law Journal*, 1(1), 1–13. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bandow, N., Will, V., Wachtendorf, V., & Georg Simon, F. (2017). *Contaminant release from aged microplastic*. 394–405.
- Bayo, J., López-Castellanos, J., Rojo, M. D., & Olmos, S. (2018). Emisión de microplásticos desde estaciones depuradoras de aguas residuales: ¿son los polímeros más demandados los más encontrados en nuestros efluentes? *Conama 2018*. Recuperado de <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2018/CT2018/222224168.pdf>
- Belzona Inc. (2010). Guía de Aplicaciones Belzona en Equipos de Tratamiento de Aguas Residuales-Tratamiento de Aguas Residuales. *Belzona*, 40. Recuperado de <https://www.belzona.com/es/industries/wastewater.aspx>
- Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Espanola de Salud Publica*, 93, 1–10.
- Casazza, M., Huisinigh, D., Ulgiati, S., Severino, V., Liu, G., & Lega, M. (2019). Product service system-based municipal solid waste circular management platform in campania region (Italy): A preliminary analysis. *Procedia CIRP*, 83, 224–229. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.085>
- Chen, G., Feng, Q., & Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of the Total Environment*, 703, 135504. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>

- Cifuentes, A. (2017). Presencia De Microplástico Derivado De La Degradación De Tanques De Reserva Plásticos En El Agua Potable De Riobamba. In *Universidad Nacional de Chimborazo*. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastic separation techniques. *Microplastic Pollutants*, 203–218. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809406-8.00009-8>
- Elías, R. (2017). *Mar del plástico: una revisión de los problemas del plástico en el mar*. January 2015.
- Gómez, P. (2018). *Diseño De Sistema De Regeneración De 1000 M3 / D De Agua Residual Incluyendo Separación E*. 2–104.
- Gorchev, H. G., & Ozolins, G. (1984). WHO guidelines for drinking- water quality. *WHO Chronicle*, 38(3), 104–108.
- Gutiérrez, P. (2020). *Estudio de la presencia de microplásticos en las cumbres del parque nacional de la sierra de guadarrama*.
- INEN. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras. *Instituto Ecuatoriano De Normalización*, 26. Recuperado de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>
- Instituto de Toxicología de la Defensa. (2016). *Protocolo De Toma De Muestras De Agua Residual*. 10. Recuperado de <http://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTO>

- Jambeck, J. R., Ji, Q., Zhang, Y.-G., Liu, D., Grossnickle, D. M., & Luo, Z.-X. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 764–768. Recuperado de <https://doi.org/10.1126/science.1260879>
- Jayakody, P. (2008). Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: results from a global assessment. In *Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: results from a global assessment* (Issue 127).
- Jiménez, T., Medina, J., & María, A. (2017). *Influencia De La Dilución Del Sulfato De Aluminio En La Eficiencia De La Coagulación En La Potabilización Del Agua*.
- López-Monroy, F., & Fermín, I. (2019). *Microplásticos En El Ambiente Marino* . *Microplastics in the*. 81(December), 66–81.
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458. Recuperado de <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Montero, M. (2017). *ANTEPROYECTO : DISEÑO DE ESTACION DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES*.
- Paredes, M., Castillo, T., Viteri, R., Fuentes, G., & Boderó, E. (2019). Microplastics in the drinking water of the Riobamba city, Ecuador. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 28(4), 653–663. Recuperado de <https://doi.org/10.22630/PNIKS.2019.28.4.59>
- Plastics Europe, G. M. R., & Conversio Market & Strategy GmbH. (2019). *Plastics - the Facts 2019*. Recuperado de <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>

- Rojo-Nieto, E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas , plásticos y microplásticos. In *Creative Commons*. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.01.004>
- Ryan, P. G., Moore, C. J., Van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1999–2012. Recuperado de <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss Floodplain Soils. *Environmental Science and Technology*, 52(6), 3591–3598. Recuperado de <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Secretaría Nacional Del Agua. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua. *TULAS Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*, 8–9.
- Torres, S. (2017). Comparativa metodológica y propuesta de un protocolo para la extracción y detección mediante fluorescencia de microplásticos en muestras biológicas. *Revista Española de Cardiología*, 62(12), 1512–1524. Recuperado de https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/148188/Torres_Susana.pdf?sequence=1
- Vargas, M., & Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 19(4), 37–41.
- Villacreses, A. (2015). *Propuesta para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia Fátima, Provincia de Pastaza*.
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., & Sillanpää, M. (2019). Importance of atmospheric transport

for microplastics deposited in remote areas. *Environmental Pollution*, 254, 1–4.

Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121>

8. ANEXOS

ANEXO 1: MODELO DE FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región			
Provincia			
Ciudad			
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra		Tipo de	
Fecha		Alcantarillado	
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones	Coordenada Norte	Coordenada Este	
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
		Plástico	Vidrio
			Otros
FOTOS			

ANEXO 2: MÉTODO AHP

		Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
		Precio	Disponibilidad	Velocidad de Respuesta	Densidad
Alternativa 1	Precio	1	3	1/3	7
Alternativa 2	Disponibilidad	1/3	1	1/5	5
Alternativa 3	Velocidad de Respuesta	3	5	1	9
Alternativa 4	Densidad	1/7	1/5	1/9	1
	Σ	4 10/21	9 1/5	1 29/45	22

MATRIZ NORMALIZADA				VECTOR PROMEDIO
21/94	15/46	15/74	7/22	19/71
7/94	5/46	9/74	5/22	56/421
63/94	25/46	45/74	9/22	343/615
3/94	1/46	5/74	1/22	1/24

Criterio:	Precio			
	Yoduro de Sodio	Cloruro de Zinc	Politungtato de Sodio	Metatungstato de Litio
Yoduro de Sodio	1	1/3	3	5
Cloruro de Zinc	3	1	7	9
Politungtato de Sodio	1/3	1/7	1	3
Metatungstato de Litio	1/5	1/9	1/3	1
Σ	4 8/15	1 37/63	11 1/3	18

MATRIZ NORMALIZADA				VECTOR PROMEDIO
15/68	21/100	9/34	5/18	9/37
45/68	63/100	21/34	1/2	256/425
5/68	9/100	3/34	1/6	84/803
3/68	7/100	1/34	1/18	11/221

Criterio:	Disponibilidad			
	Yoduro de Sodio	Cloruro de Zinc	Politungtato de Sodio	Metatungstato de Litio
Yoduro de Sodio	1	1/2	3	9
Cloruro de Zinc	2	1	5	7
Politungtato de Sodio	1/3	1/5	1	5
Metatungstato de Litio	1/9	1/7	1/5	1
Σ	3 4/9	1 59/70	9 1/5	22

MATRIZ NORMALIZADA				VECTOR PROMEDIO
9/31	35/129	15/46	9/22	71/219
18/31	70/129	25/46	7/22	66/133
3/31	14/129	5/46	5/22	100/739
1/31	10/129	1/46	1/22	5/113

Criterio:	Velocidad de Respuesta			
	Yoduro de Sodio	Cloruro de Zinc	Politungtato de Sodio	Metatungstato de Litio
Yoduro de Sodio	1	3	5	9
Cloruro de Zinc	1/3	1	5	7
Politungtato de Sodio	1/5	1/5	1	5
Metatungstato de Litio	1/9	1/7	1/5	1
Σ	1 29/45	4 12/35	11 1/5	22

MATRIZ NORMALIZADA

45/74	105/152	25/56	9/22
15/74	35/152	25/56	7/22
9/74	7/152	5/56	5/22
5/74	5/152	1/56	1/22

VECTOR PROMEDIO

293/544
247/825
119/983
33/806

Criterio:	Densidad			
	Yoduro de Sodio	Cloruro de Zinc	Politungtato de Sodio	Metatungstato de Litio
Yoduro de Sodio	1	3	9	4
Cloruro de Zinc	1/3	1	7	5
Politungtato de Sodio	1/9	1/7	1	3
Metatungstato de Litio	1/4	1/5	1/3	1
Σ	1 25/36	4 12/35	17 1/3	13

MATRIZ NORMALIZADA

36/61	105/152	27/52	4/13
12/61	35/152	21/52	5/13
4/61	5/152	3/52	3/13
9/61	7/152	1/52	1/13

VECTOR PROMEDIO

127/241
299/984
74/765
41/566

	Yoduro de Sodio	Cloruro de Zinc	Politungtato de Sodio	Metatungstato de Litio
Yoduro de Sodio	9/37	71/219	293/544	127/241
Cloruro de Zinc	256/425	66/133	247/825	299/984
Politungtato de Sodio	84/803	100/739	119/983	74/765
Metatungstato de Litio	11/221	5/113	33/806	41/566
PONDERACIÓN	19/71	56/421	343/615	1/24

TOTAL

400/929
131/322
65/553
36/799
1

PORCENTAJE AHP

43%	Yoduro de Sodio
41%	Cloruro de Zinc
12%	Politungtato de Sodio
5%	Metatungstato de Litio
100%	TOTAL

ANEXO 3: MICROPLÁSTICOS TRITURADOS



ANEXO 4: PEACHÍMETRO



ANEXO 5: CONDUCTIVÍMETRO



ANEXO 6: TURBIDÍMETRO



ANEXO 7: EQUIPO DE FILTRACIÓN AL VACÍO



ANEXO 8: CAJA PETRI CON FILTRO DE CELULOSA



ANEXO 9: CAJA PETRI CON FILTRO DE CELULOSA Y ROSA DE BENGALA



ANEXO 10: ESTEREOSCOPIO



ANEXO 11: CÁMARA UV



ANEXO 12: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS RICPAMBA

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	1	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	12 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9815583.42	758446.37
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Ricpamba	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			



ANEXO 13: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS QUINTA MACAJÍ

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	2	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	12 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9815228.05	759411.62
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Quinta Macají	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			
			

ANEXO 14: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS EL BATÁN

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	3	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	12 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9815101.28	759492.15
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Puente Hacia Barrio El Batán	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			



ANEXO 15: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS YARUQUÍES

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	4	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	13 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9813891.12	760053.80
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Puente hacia Yaruquíes	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			



ANEXO 16: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS PARQUE ECOLÓGICO

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	5	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	13 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9813460.05	761088.59
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Parque Ecológico	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			



ANEXO 17: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS PARQUE ECOLÓGICO

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	6	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	13 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9813460.05	761088.59
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Parque Ecológico	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			



ANEXO 18: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS SAN LUIS

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	7	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	14 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9810931.79	761765.81
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	San Luis	Plástico	Vidrio
		X	
FOTOS			



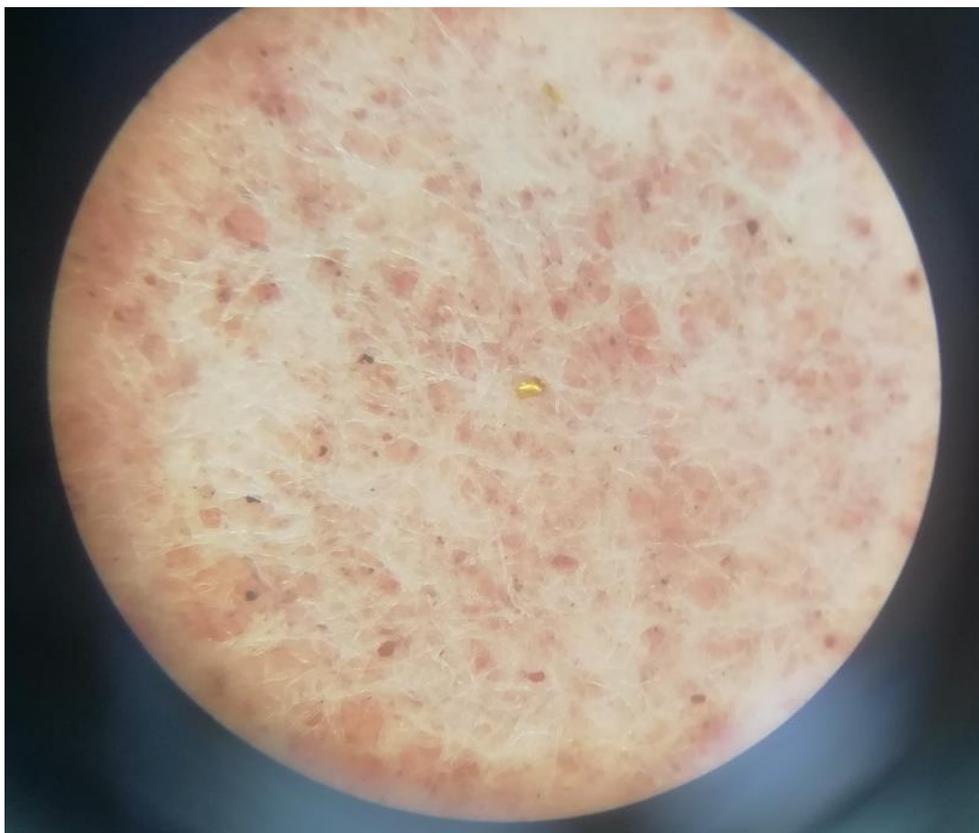
ANEXO 19: FICHA TÉCNICA PARA TOMA DE MUESTRAS TRATAMIENTO DE AGUAS GADMR

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
	DATOS GENERALES		
Región	Sierra		
Provincia	Chimborazo		
Ciudad	Riobamba		
DATOS DE LA MUESTRA			
N° De Muestra	8	Tipo de Alcantarillado	Combinado
Fecha	14 de Diciembre de 2020		
DATOS LUGAR DE RECOLECCIÓN			
Observaciones		Coordenada Norte	Coordenada Este
-		9812119.43	761625.43
Lugar De Descarga	Zona De Recolección	Tipo De Envase	
Río Chibunga	Tratamiento de Agua GADMR	Plástico	Vidrio
		X	

FOTOS



ANEXO 20: MICROPLÁSTICOS EN ESTEREOSCOPIO



ANEXO 21: MICROPLÁSTICOS EN CÁMARA UV

