



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**“DETECCIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE PLÁSTICO EN EL SISTEMA DE  
POTABILIZACIÓN DE AGUA TOMBAMBA, CUENCA - ECUADOR.”**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniera Biotecnóloga

AUTORAS: GERMANIA YADIRA ORELLANA VEGA

ANDREA PAULINA VIVAR TENEN

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Germanía Yadira Orellana Vega con documento de identificación No. 1400668420 y Andrea Paulina Vivar Tenen con documento de identificación No. 0104688296; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 07 de septiembre del 2022

Atentamente,

Germanía Yadira Orellana Vega

1400668420

Andrea Paulina Vivar Tenen

0104688296

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Germania Yadira Orellana Vega con documento de identificación No. 1400668420 y Andrea Paulina Vivar Tenen con documento de identificación No. 0104688296, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo experimental: “Detección de micropartículas de plástico en el sistema de potabilización de agua Tomebamba, Cuenca - Ecuador.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biotecnóloga, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 07 de septiembre del 2022

Atentamente,



Germania Yadira Orellana Vega

1400668420



Andrea Paulina Vivar Tenen

0104688296

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación N<sup>o</sup> 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DETECCIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE PLÁSTICO EN EL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA TOMBAMBA, CUENCA - ECUADOR.”, realizado por Germania Yadira Orellana Vega con documento de identificación No. 1400668420 y por Andrea Paulina Vivar Tenen con documento de identificación No. 0104688296, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 07 de septiembre del 2022

Atentamente,



Dr. Pablo Wilson Arévalo Moscoso

0102156957

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis padres Guido Orellana y Arely Vega y a mis hermanas, que son mi apoyo incondicional y a quienes amo infinitamente y que, además, son los que me motivaron durante toda la trayectoria para mi formación profesional.

Finalmente, a mi querida abuelita Emmita, quien es mi segunda madre y está presente en cada etapa de mi vida.

*Germania Yadira Orellana Vega*

## **DEDICATORIA**

El trabajo de investigación le dedico a Jehová por brindarme sabiduría y fortaleza para culminar mi carrera universitaria, a mis padres Patricio y Marcia, a mis hermanos Camila y Nicolás, porque son el motor y apoyo de mi vida, los mismos que me motivaban día a día para seguir adelante y cumplir mis sueños.

Al igual que a mis abuelitos Bolívar y Mercedes, que son como mis padres, están presentes todo el tiempo en mi vida y los quiero mucho y a mi tía Janneth quien está ahí incondicionalmente en cada etapa de mi vida.

*Andrea Paulina Vivar Tenen*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero manifestar mi eterno agradecimiento a Dios y la Virgen Santísima que con su amor infinito me otorgaron sabiduría y orientación para tomar buenas decisiones y poder culminar mis estudios universitarios.

A la Universidad Politécnica Salesiana, a mis profesores y especialmente a mi tutor PhD.

Pablo Arévalo, por su rectitud y enseñanzas, para formar buenos y responsables profesionales al servicio del país.

A mi compañera y amiga de tesis Paulina Vivar, por la confianza, el apoyo y la amistad.

Finalmente, a mi enamorado, amigos y compañeros, por estar siempre apoyándome en los buenos y difíciles momentos.

*Germania Yadira Orellana Vega*

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Jehová por permitir alcanzar esta meta tan importante en mi vida, llenándome de sabiduría, fuerza, constancia, por colocar personas maravillosas en mi camino quienes me han ayudado y apoyado en cada etapa de mi vida.

A mis padres Marcia y Patricio por ser mi inspiración y enseñarme, que cada meta que uno se propone, solamente se lo logra a través de perseverancia y confianza en Jehová.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirme convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona, a mis profesores Dra. Myriam Mancheno, Dra. Inés Malo, Ing. Jhison Romero, Dra. Silvia Orellana quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

Al Ing. Pablo Arévalo, tutor de mi tesis, que durante este proceso nos ayudó con su dirección, conocimiento y enseñanza para el desarrollo de este trabajo de titulación.

A Germania Orellana, mi compañera de tesis, por su responsabilidad y dedicación, para culminar la tesis.

*Andrea Paulina Vivar Tenen*



## RESUMEN

La fabricación del plástico ha incrementado considerablemente a nivel mundial, en consecuencia, la contaminación del medio ambiente causada por grandes cantidades de residuos plásticos sin un correcto manejo de técnicas de reciclaje, se degradan en partículas microscópicas presentes en diferentes recursos naturales, especialmente en las fuentes hídricas ingresando en la cadena trófica y generando el fenómeno de la biomagnificación. Por lo que se plantea el objetivo detectar micropartículas de plástico por medio de las técnicas de Microscopía invertida de Fluorescencia y Espectroscopía Infrarroja (FTIR), para el establecimiento de zonas de mayor concentración en las diferentes etapas del sistema de potabilización de agua Tomebamba de la ciudad de Cuenca - Ecuador, mediante el análisis de 99 muestras en los puntos de muestreo como captación, ingreso a la red de distribución y red domiciliaria. Dando como resultado, el 100% de muestras con microplásticos observables con mayor incidencia fibras y fragmentos con un promedio final de 18,28 partículas por 250 ml y un rango general para fibras de 6,31  $\mu\text{m}$  - 4966,77  $\mu\text{m}$  y para fragmentos de 6,95  $\mu\text{m}$  - 243,87  $\mu\text{m}$ .

Con respecto a los tipos de polímeros encontrados en cada punto de muestreo se encontró una coincidencia con polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidad (PEHD), polietileno de baja densidad (PEBD), poliéster y polibutileno. Finalmente, se evaluó que no existe diferencia significativa entre los puntos de muestreo.

**Palabras clave:** Microplásticos, Sistema Tomebamba, fibras, fragmentos, FTIR.

## ABSTRACT

The manufacture of plastic has increased significantly worldwide, consequently, environmental pollution caused by large amounts of plastic waste without proper management of recycling techniques, degrading into microscopic particles found in different natural resources, especially in water sources, entering the trophic chain and generating the phenomenon of bio magnification. Therefore, the goal of this study is to detect plastic micro particles by using the techniques of Inverted Fluorescence Microscopy and Infrared Spectroscopy (FTIR), to establish the areas of highest concentration in the different stages of the Tomebamba water treatment system in the city of Cuenca - Ecuador. Also, the analysis of 99 sample points such as collection, entry to the distribution and home network, showed that 100% of the samples had observable micro plastics with a higher incidence of fibers and fragments with a final average of 18.28 particles per 250 ml and a general range for fibers of 6.31  $\mu\text{m}$  - 4966.77  $\mu\text{m}$  and for fragments of 6.95  $\mu\text{m}$  - 243.87  $\mu\text{m}$ .

Regarding the types of polymers found at each sampling point, a match was found with polyethylene terephthalate (PET), high density polyethylene (HDPE), low density polyethylene (LDPE), polyester and polybutylene. Finally, it was concluded that there is no significant difference between the sampling points.

**Key words:** Microplastics, Tomebamba System, fibers, fragments, FTIR.

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPITULO 1 .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b> | <b>2</b>  |
| <b>1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>                   | <b>3</b>  |
| <b>1.3. JUSTIFICACIÓN .....</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>1.4. OBJETIVOS .....</b>                                   | <b>4</b>  |
| <b>1.4.1. Objetivo general .....</b>                          | <b>4</b>  |
| <b>1.4.2. Objetivos específicos .....</b>                     | <b>4</b>  |
| <b>1.5. HIPÓTESIS .....</b>                                   | <b>5</b>  |
| <b>CAPITULO 2 .....</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>2. MARCO TEORICO .....</b>                                 | <b>6</b>  |
| <b>2.1. ESTADO DE ARTE (ANTECEDENTES) .....</b>               | <b>6</b>  |
| <b>2.2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>                            | <b>11</b> |
| <b>2.2.1. Plásticos.....</b>                                  | <b>11</b> |
| <b>2.2.2. Polietileno.....</b>                                | <b>11</b> |
| <b>2.2.3. Polietileno de alta densidad.....</b>               | <b>11</b> |
| <b>2.2.4. Tereftalato de polietileno.....</b>                 | <b>12</b> |
| <b>2.2.5. Tereftalato de polibutileno .....</b>               | <b>12</b> |
| <b>2.2.6. Polipropileno .....</b>                             | <b>12</b> |

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| <b>2.2.7.</b>  | <b>Poliestireno .....</b>               | <b>12</b> |
| <b>2.2.8.</b>  | <b>Macroplásticos.....</b>              | <b>13</b> |
| <b>2.2.9.</b>  | <b>Mesoplásticos.....</b>               | <b>13</b> |
| <b>2.2.10.</b> | <b>Nanoplásticos.....</b>               | <b>13</b> |
| <b>2.2.11.</b> | <b>Microplásticos .....</b>             | <b>13</b> |
| <b>2.2.12.</b> | <b>Microplásticos secundarios .....</b> | <b>14</b> |
| <b>2.2.13.</b> | <b>Microplásticos primarios.....</b>    | <b>14</b> |
| <b>2.2.14.</b> | <b>Fragmentos .....</b>                 | <b>14</b> |
| <b>2.2.15.</b> | <b>Fibras plásticas.....</b>            | <b>14</b> |
| <b>2.2.16.</b> | <b>Pellets .....</b>                    | <b>14</b> |
| <b>2.2.17.</b> | <b>Rojo de Nilo .....</b>               | <b>15</b> |
| <b>2.2.18.</b> | <b>Fluorescencia .....</b>              | <b>15</b> |
| <b>2.2.19.</b> | <b>Espectroscopía.....</b>              | <b>15</b> |
| <b>2.2.20.</b> | <b>Agua potable.....</b>                | <b>15</b> |
| <b>2.2.21.</b> | <b>Planta de Agua Potable .....</b>     | <b>16</b> |
| <b>2.2.22.</b> | <b>Captación .....</b>                  | <b>16</b> |
| <b>2.2.23.</b> | <b>Potabilización .....</b>             | <b>16</b> |
| <b>2.2.24.</b> | <b>Red domiciliaria .....</b>           | <b>17</b> |
| <b>2.3.</b>    | <b>BASES TEÓRICAS .....</b>             | <b>17</b> |

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| <b>2.3.1.</b>     | <b>Efectos generados por plásticos .....</b>                                | <b>17</b> |
| <b>2.3.2.</b>     | <b>Proceso de degradación de los Plásticos.....</b>                         | <b>18</b> |
| <b>2.3.3.</b>     | <b>Clasificación del plástico según su tamaño .....</b>                     | <b>19</b> |
| <b>2.3.4.</b>     | <b>Clasificación de los Microplásticos de acuerdo con su forma.....</b>     | <b>19</b> |
| <b>2.3.5.</b>     | <b>Procedencia y distribución de los microplásticos.....</b>                | <b>19</b> |
| <b>2.3.6.</b>     | <b>Impactos producidos por los microplásticos .....</b>                     | <b>20</b> |
| <b>2.3.7.</b>     | <b>Planta de Agua Potable “El Cebollar” .....</b>                           | <b>21</b> |
| <b>2.3.8.</b>     | <b>Técnicas de extracción de microplásticos de diferentes matrices.....</b> | <b>21</b> |
| <b>2.3.9.</b>     | <b>Tamizaje.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>2.3.9.1.</b>   | <b>Digestión.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.3.9.1.1.</b> | <b>Digestión alcalina .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.3.9.1.2.</b> | <b>Digestión ácida.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.3.9.1.3.</b> | <b>Digestión enzimática .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.3.9.2.</b>   | <b>Microfiltración.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>2.3.10.</b>    | <b>Métodos de evaluación de microplásticos .....</b>                        | <b>24</b> |
| <b>2.3.10.1.</b>  | <b>Microscopía óptica .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.3.10.2.</b>  | <b>Microscopía invertida de fluorescencia.....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>2.3.10.3.</b>  | <b>Caracterización de microplásticos.....</b>                               | <b>24</b> |
| <b>2.3.11.</b>    | <b>Métodos de identificación de microplásticos .....</b>                    | <b>24</b> |
| <b>2.3.11.1.</b>  | <b>Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) .....</b>   | <b>24</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3.11.2. Espectroscopía Raman.....                            | 25        |
| CAPITULO 3 .....   | 27        |
| <b>3. METODOLOGÍA.....</b>                                     | <b>27</b> |
| 3.1. Enfoque de investigación .....                            | 27        |
| 3.3. Diseño de la investigación.....                           | 28        |
| 3.4. Población y muestra .....                                 | 29        |
| 3.5. Variables .....   | 30        |
| 3.5.1. Sistemas de variables.....                              | 30        |
| 3.5.2. Operacionalización de variables.....                    | 30        |
| 3.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....  | 31        |
| 3.8. Materiales y equipos .....                                | 32        |
| 3.9. Metodología de levantamiento de información .....         | 33        |
| 3.9.1. Puntos de muestreo .....                                | 33        |
| 3.9.2. Toma de muestras .....                                  | 34        |
| 3.9.3. Metodología para la extracción de microplásticos.....   | 36        |
| 3.9.4. Metodología de caracterización de Microplásticos.....   | 37        |
| 3.9.5. Metodología de la identificación de Microplásticos..... | 37        |
| CAPITULO 4 .....   | 38        |
| <b>4. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>                          | <b>38</b> |
| 4.1. Caracterización de microplásticos.....                    | 38        |

|                          |  |           |
|--------------------------|--|-----------|
| 4.1.1.                   | Morfología del microplásticos.....                                       | 38        |
| 4.1.2.                   | Cantidad de microplásticos .....   | 40        |
| 4.1.3.                   | Tamaño de Microplástico .....  | 44        |
| 4.1.4.                   | Dimensión de Microplástico .....   | 49        |
| 4.2.                     | Identificación de Microplásticos .....                                   | 54        |
| 4.2.1.                   | Tipo de Microplásticos .....   | 54        |
| 4.3.                     | Evaluación de las etapas del sistema de potabilización de agua Tomebamba | 55        |
| 4.3.1.                   | Estadística descriptiva .....  | 55        |
| 4.3.2.                   | Test de normalidad .....   | 56        |
| 4.3.3.                   | Análisis de Varianza .....   | 57        |
| <b>CAPITULO 5 .....</b>  |  | <b>60</b> |
| <b>5.</b>                | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                              | <b>60</b> |
| 5.1.                     | Conclusiones.....  | 60        |
| 5.2.                     | Recomendaciones.....   | 61        |
| <b>REFERENCIAS .....</b> |  | <b>63</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>      |  | <b>72</b> |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Clasificación del plástico en base a su tamaño.....                          | 19 |
| <b>Tabla 2.</b> Matriz de operacionalización de variables .....                              | 30 |
| <b>Tabla 3.</b> Descripción de materiales, equipos y reactivos utilizados .....              | 32 |
| <b>Tabla 4.</b> Puntos de muestreo .....   | 34 |
| <b>Tabla 5.</b> Concentración y caracterización de partículas encontradas en 250 ml .....    | 40 |
| <b>Tabla 6.</b> Determinación del tamaño de partículas en los puntos de muestreo.....        | 44 |
| <b>Tabla 7.</b> Dimensiones de las partículas microscópicas del plástico .....               | 49 |
| <b>Tabla 8.</b> Porcentaje de Polímeros encontrados en los puntos de muestreo.....           | 54 |
| <b>Tabla 9.</b> Estadística descriptiva de los puntos de muestreo.....                       | 55 |
| <b>Tabla 10.</b> Prueba Shapiro Wilks, prueba de normalidad .....                            | 57 |
| <b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza ANOVA de los datos obtenidos en la investigación ..... | 58 |
| <b>Tabla 12.</b> Partículas encontradas en la captación .....                                | 80 |
| <b>Tabla 13.</b> Partículas encontradas en el ingreso a la red de distribución .....         | 82 |
| <b>Tabla 14.</b> Partículas encontradas en la red domiciliaria .....                         | 84 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Dimensiones de una fibra de microplástico .....                         | 38 |
| <b>Figura 2.</b> Dimensión de un fragmento de microplástico .....                        | 39 |
| <b>Figura 3.</b> Diagrama de Cajas y Bigotes.....  | 59 |
| <b>Figura 4.</b> Cantidad de microplásticos en la captación .....                        | 86 |
| <b>Figura 5.</b> Cantidad de microplásticos en el ingreso a la red de distribución ..... | 87 |
| <b>Figura 6.</b> Cantidad de microplásticos en la red domiciliaria .....                 | 87 |



# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la demanda de plásticos ha incrementado exponencialmente, en consecuencia, la polución ambiental descontrolada a causa de su uso y el inadecuado manejo de técnicas de reciclaje, ha generado la permanencia de dicho material en el ecosistema, originando su presencia en varios recursos como el agua, aire y suelo, que posteriormente desembocan en océanos del mundo con un tiempo de permanencia y distribución muy alto, los mismos que por procesos mecánicos y fotoquímicos se degradan hasta llegar a convertirse en partículas microscópicas denominadas microplásticos (Espinosa *et al.*, 2016)

Los microplásticos son partículas imperceptibles con un tamaño inferior a 5 mm, generadas por la degradación del plástico, diferenciándose unos con otros en base a su origen y tamaño. Los de origen primario van desde 5 mm a 1 mm y se obtienen a partir de productos utilizados frecuentemente como los cosméticos o indirectamente de la elaboración de plásticos (Loganathan y Kizhakedathil, 2023). Por otro lado, los secundarios tienen un tamaño desde 1 mm a 2  $\mu\text{m}$ , se derivan de plásticos grandes y se descomponen en fragmentos más pequeños al estar expuestos a altas temperaturas y radiaciones ultravioletas (Lin *et al.*, 2018).

Hoy en día, los microplásticos están presentes en todas sus formas y tamaños en los ecosistemas del planeta (Xanthos y Walker, 2017), especialmente en los sistemas hídricos, por lo que, pueden transportarse por las cadenas tróficas, desde los animales acuáticos hasta los seres humanos, por esta razón esta investigación tiene como propósito la identificación de micropartículas de plástico en el sistema de agua potable, proporcionando información

actualizada y necesaria para su investigación, debido al gran interés en la fabricación y uso descontrolado de plásticos.

En el análisis a realizar se propuso la siguiente hipótesis: Los microplásticos son detectados en el sistema de potabilización de agua Tomebamba de la ciudad de Cuenca, por lo que se deberá generar acciones correctivas en las etapas implicadas. Seguidamente, el informe de investigación se estructuró de la siguiente manera: dentro del primer capítulo se puede encontrar la introducción, el planteamiento del problema de investigación y los objetivos del tema de estudio. En el siguiente apartado se abordó el marco teórico desarrollando el estado de arte (antecedentes) y las bases teóricas de la cuestión investigada. En la tercera sección se estableció la metodología que se utilizó para desarrollar el presente trabajo. Posteriormente, en el cuarto se presentó los análisis y los resultados de la investigación. Finalmente, el último capítulo correspondió a las conclusiones y recomendaciones.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Las fuentes hídricas son un recurso necesario para la subsistencia de la vida terrestre y acuática, sin embargo, su contaminación en estos últimos años se ha incrementado principalmente por residuos plásticos generando una pérdida de la vida acuática, los mismos que se fragmentan y se descomponen hasta llegar a convertirse en microplásticos. (Issac y Kandasubramanian, 2021). En consecuencia, su tamaño microscópico da como resultado que gran variedad de especies marinas lo absorban, incrementando el riesgo de ser ingeridos por los humanos mediante el fenómeno de la bioacumulación (Cózar *et al.*, 2014). Existen varias investigaciones internacionales sobre la presencia de microplásticos en diferentes matrices: agua de grifo (Tong *et al.*, 2020), sal marina (Selvam *et al.*, 2020) agua embotellada

(Mason et al., 2018) entre otros, por este motivo, la Organización Mundial de la Salud, OMS (2019), considera pertinente estudiar la importancia de micropartículas plásticas, ya que existe la posibilidad que sean considerados como contaminantes y los causantes de posibles enfermedades.

El agua es de gran interés dentro de la investigación, puesto que es uno de los recursos más utilizados en todo el mundo y es considerado primordial para la existencia de los seres vivos, por lo tanto, se lo debe preservar y proteger. Conforme a lo antes mencionado y con el propósito que a futuro los resultados obtenidos concienticen los problemas ocasionados por el uso indiscriminado de plástico, se plantea el estudio “Detección de micropartículas de plástico en el sistema de potabilización de agua Tomebamba, Cuenca-Ecuador”.

## **1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Existe la presencia de microplásticos en el sistema de potabilización de agua Tomebamba de la ciudad de Cuenca?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, las micropartículas derivadas de los plásticos se consideran ubicuas, puesto que en su mayoría son provenientes de las diferentes actividades antropogénicas, sin embargo, no existe suficiente información y las personas desconocen sobre la presencia de estas partículas en las fuentes hídricas.

Los efectos causados en la salud humana por ingestión o inhalación aún no se conocen, no obstante, estudios llevados a cabo en animales dieron a conocer que los microplásticos pueden acumularse y generar toxicidad en la activación de su sistema inmunológico (Deng *et al.*, 2017), además, causan efectos adversos en los organismos acuáticos, que, por medio de la cadena alimentaria, pueden ingresar en los seres humanos.

En base a los estudios publicados hasta el momento sobre este tema, es evidente que exista la presencia de microplásticos en el agua potable, más aún porque este recurso natural es ampliamente utilizado en las áreas densamente pobladas, por lo que, desde el punto de vista ambiental y social se debe considerar la importancia de conocer las diferentes fuentes de los microplásticos con la finalidad de ayudar a la población a tener más información acerca del tema y a su vez, sobre los efectos que podrían causar a largo plazo en la salud.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Detectar micropartículas de plástico por medio de las técnicas de Microscopía invertida de Fluorescencia y Espectroscopía Infrarroja, para el establecimiento de zonas de mayor concentración en las diferentes etapas del sistema de potabilización de agua Tomebamba de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la cantidad, tamaño y dimensión de microplásticos presentes en el sistema de potabilización de agua Tomebamba, por medio de microscopía invertida.
- Identificar el tipo de micropartículas de plástico por medio de FTIR para el análisis de su procedencia.
- Evaluar las etapas del sistema donde se encuentran mayor concentración de microplásticos, estableciendo acciones correctivas en las diferentes etapas del sistema de potabilización de agua Tomebamba en la ciudad de Cuenca.

## **1.5. HIPÓTESIS**

Los microplásticos son detectados en el sistema de potabilización de agua Tomebamba de la ciudad de Cuenca, por lo que se deberá generar acciones correctivas en las etapas implicadas.

## CAPITULO 2

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. ESTADO DE ARTE (ANTECEDENTES)

Se buscaron estudios relacionados con la identificación de micropartículas de plástico al igual que los riesgos relacionados con la salud humana.

En países como Japón, EE. UU., Francia, Finlandia y Alemania, se elaboró un trabajo con la finalidad de caracterizar y cuantificar microplásticos en el agua procesada, en la cual se obtuvieron 42 muestras de 12 ciudades de los países mencionados anteriormente, con respecto a los resultados de la cuantificación de microplásticos se encontraron un rango de 1,9 a 225 partículas por litro y mediante el FTIR se detectó 29 tipos de polímeros encontrados en las muestras (Mukotaka *et al.*, 2021).

En Alemania se analizó la presencia microplásticos (MP) en dos matrices de agua, de agua de grifo y agua subterránea, además, se utilizaron filtros en cascada de 100-20-5  $\mu\text{m}$ . El 79% de los MP encontrados tenían diámetros menores a 20  $\mu\text{m}$  y a través de la microespectroscopía Raman, se logró identificar la distribución de tamaños y el tipo de polímero presente en cada muestra, tales como: PET<sup>1</sup>, PP<sup>2</sup>, y PA<sup>3</sup> (Pittroff *et al.*, 2021).

Los estudios realizados por Ripken *et al.* (2021) en muestras de aguas superficiales en la isla subtropical de Okinawa, Japón, se pudo identificar mediante técnicas de microscopía óptica y espectrofotometría que los microplásticos con mayor incidencia fueron: PET, polietileno, polipropileno, poliamida y poliestireno, sin embargo, el 75 % de las

---

<sup>1</sup> Tereftalato de polietileno

<sup>2</sup> Polipropileno

<sup>3</sup> Poliamida

muestras obtenidas fueron de polietileno de baja densidad, por otro lado, los MP identificados con menor tamaño fueron de poliestireno con una longitud de 2,53 mm y diámetro de 0,85 mm. Para concluir, cabe mencionar que todas las muestras tienen presencia de MP y sobre todo aumenta la cantidad de MP en el agua en las zonas con mayor incidencia humana.

La técnica de fluorescencia microscópica ayudó en la investigación realizada por Michelaraki *et al.* (2020) a identificar en muestras oceánicas mediante la utilización de la emisión verde de la excitación de la luz UV con 530/27 nm, el mejor fluorocromo entre el rojo de Nilo (NR) y Azul de metileno (MB) para la detección visual de microplásticos, dando como resultado que no hay una diferencia significativa en la utilización tanto de MB y de NR, ya que solo existe un margen de error de 0,1 % y 0,6% respectivamente.

Con respecto al artículo de investigación de Bollaín *et al.* (2019) se dio a conocer el impacto que genera los microplásticos en la salud de los seres humanos, siendo la mayoría de estudios relacionados con origen marino, sin embargo, los autores ponen énfasis en el estudio del agua para el consumo humano, es por eso que se clasifican a los microplásticos encontrados en la investigación como, grupo 1 carcinógeno para los seres humanos, grupo 2A probablemente carcinógeno para los seres humanos, grupo 2 B posiblemente carcinógeno para los seres humanos y grupo 3 no clasificable como carcinógeno para los humanos, donde se evidencia en los resultados que el PVC<sup>4</sup> y PS<sup>5</sup> se clasifican en el grupo 3, algunos componentes utilizados para su fabricación se encuentran clasificados en los demás grupos como es el caso del cloruro de vinilo, clasificado en el grupo 1, el estireno en el grupo 2A y

---

<sup>4</sup> Policloruro de vinilo

<sup>5</sup> Poliestireno

por último, ftalato en el grupo 2B, teniendo en cuenta que las técnicas utilizadas son la microscopía de 40 aumentos y el FTIR.

Se realizó un monitoreo por tres meses para identificar la presencia de microplásticos en aguas residuales de Montevideo, Uruguay. Los procedimientos se realizaron mediante técnicas de microscopía óptica de luz polarizada para determinar diferentes formas y la composición química de MPs<sup>6</sup> con longitudes entre 70 a 600  $\mu\text{m}$  y la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier a fin de identificar polietileno, polipropileno y tereftalato de polietileno (Sierra *et al.*, 2020).

En la ciudad de Lima, Perú, Canchari y Iannacone (2022) mencionan que existe la presencia de microplásticos en sedimentos de los canales de riego en el centro de la ciudad, el objetivo principal del estudio es la identificación del tamaño, forma y color de los microplásticos encontrados en las muestras, la metodología utilizada fue mediante una solución salina de alta densidad y cloruro de zinc, en los resultados se determinó la presencia de partículas entre 6 – 1000  $\mu\text{m}$ , con respecto a la forma de microplásticos se identificó los fragmentos con mayor incidencia, teniendo en cuenta que no se encontró ni pellets ni fibras y el color de los fragmentos encontrados en las muestras fueron azules en su totalidad.

Entre los años de 2015 y 2019 existió un incremento en la detección de microplásticos en el agua de 114% de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano y se determinó varios parámetros como la densidad, distribución y el tipo de los MP, mediante la recolección de 36 muestras, tanto en el estuario interno (EI) y estuario externo (EE) por un periodo de tiempo de cuatro años y se logró identificar un incremento de 28,7% anualmente. Para el desarrollo

---

<sup>6</sup> Microplásticos



de este estudio se utilizó una metodología de digestión con hipoclorito de sodio y varios tamices para la filtración o eliminación de material extra, además de microscopía óptica, con respecto a la densidad se obtuvo en EI, 271928,6 a 60734,9 MP/ Km<sup>2</sup> y para EE 492106,2 a 98467,1 MP / Km<sup>2</sup>, la distribución de MP se detectó con mayor incidencia en épocas de lluvia, debido a la escorrentía generada en la época, la tipología de los MP presentados en la investigación fueron con mayor frecuencia fibras 37 % y fragmentos 62,3% tanto en EI y en EE respectivamente (Vidal *et al.*, 2021).

La Universidad de las Américas ubicada en la ciudad de Quito, Ecuador realizó una investigación sobre microplásticos en la cuenca alta del río, donde se evaluó cinco puntos de muestreo provenientes de los ríos Pita, San Pedro, y Guayllabamba; la metodología utilizada se basó en el lavado, tamizado, oxidación, separación de sólidos flotantes, conteo en el microscopio, arrojando resultados de la presencia de 1584,23 microplásticos/m<sup>3</sup>, siendo estos superiores a los registros a nivel mundial (Donoso, 2018).

En la provincia de Santa Elena se realizó una investigación sobre microplásticos en el tracto digestivo de tres especies de pescado, tales como *Scomber japonicus*, *Opisthonema libertate* y *Auxis thazard*, comercializados en el puerto pesquero de Santa Rosa, donde se tuvo una muestra de 540 individuos de las tres especies mencionadas con anterioridad, teniendo en cuenta que se utilizó hidróxido de sodio para la digestión de los mismo, al 10%. Los resultados obtenidos tuvieron lugar en 4,07% de los peces investigados con presencia de microplásticos, mediante microscopía óptica se identificó la longitud de los MP teniendo datos del rango entre 1 a 2 mm entre fragmentos y fibras, con respecto a los tipos de polímeros encontrados se utilizó la técnica de la densidad con etanol y ZnCl<sub>2</sub> obteniendo resultados de: 91% eran polímeros de baja densidad y el 9,1 % eran polímeros de alta densidad, cabe

mencionar que los individuos de la investigación no presentaron ninguna alteración en su sistema digestivo (Lino, 2019).

Un estudio realizado en el Pacífico Tropical y en el archipiélago de Galápagos tiene como objetivo principal la identificación y cuantificación de microplásticos en aguas superficiales oceánicas al igual que en organismos marítimos que son indispensables en la dieta del ser humano, el estudio tuvo lugar en 453.00 Km<sup>2</sup> con 240 individuos de 16 especies diferentes de calamares, camarones, y también de algunas especies de peces, en los resultados se puede evidenciar que el 100 % de los ejemplares tenía presencia de microplásticos con un rango de 150 a 500 µm, teniendo una cantidad en un rango de 11 a 241 *partículas / m<sup>3</sup>*, por lo que, es importante mencionar que esta investigación es una de las pioneras dentro de la región de estudio (Alfaro *et al.*, 2019).

En la investigación realizada por Chávez (2019) determinó la presencia de microplásticos derivados de la degradación de tanques de reserva plásticos en el agua potable de Riobamba mediante el uso de un microscopio óptico y la aplicación de rosa de bengala. Dando como resultado el análisis de su presencia por 250 ml de agua potable, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos son cualitativos, es decir, existe la presencia de MP o no, es importante mencionar que el 100% de las redes con uso menor de cinco años no tiene presencia de microplásticos o a su vez el valor es insignificante, además de todas las muestras analizadas solo el 65,56% existe la presencia de MP, pero el 34,44% no tiene.

En el trabajo de titulación elaborado por Flores y Orozco (2022) se pudo evaluar la presencia de microplásticos en agua embotellada en la regional 6 perteneciente a las provincias Azuay, Cañar y Morona Santiago. Se utilizó las técnicas de microscopía invertida de Fluorescencia para identificar para identificar el diámetro de dichas partículas y la

espectroscopía Infrarroja por la transformada de Fourier para determinar el tipo. Los resultados obtenidos de acuerdo con las dimensiones y tamaño están en el rango de 102,64 a 840,20 con respecto a las fibras y 4,4 – 248,29 para los fragmentos. Finalmente, con mayor probabilidad de partículas encontradas fue el polietileno.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1. Plásticos**

Material resultante del petróleo, que se caracteriza por ser resistente en el medio ambiente, fácilmente manejable y usado a nivel mundial en la vida diaria de los seres humanos, sin embargo, requiere de un periodo largo de tiempo para degradarse, y no se elimina por completo del ecosistema en donde se encuentre. (Matjašič *et al.*, 2021). Conforme a Bilbao (2015) los plásticos se pueden combinar con otros elementos y diferentes aditivos, con el objetivo de mejorar sus propiedades como: textura, tolerancia al calor, brillantez, flexibilidad; generando una amplia gama de tipos de plásticos.

### **2.2.2. Polietileno**

Es uno de los plásticos más utilizado por los seres humanos, puesto que se caracteriza por tener buena resistencia mecánica y química, baja densidad al igual que baja toxicidad, rentabilidad, se procesa fácilmente, no reactivo, sirve como un buen aislante eléctrico, sin embargo, puede ser peligroso para ciertos usos, debido a que su llama es muy inflamable y se propaga con rapidez (Wang *et al.*, 2007).

### **2.2.3. Polietileno de alta densidad**

Polímero sólido termoplástico de alta resistencia que se forma por la adición de varias moléculas de etileno, (Arévalo, 2016), cabe mencionar su deficiente número de ramificaciones lo que le proporciona varias características únicas como: dureza y resistencia

a altas temperaturas, insoluble en agua, pero si en solventes hidrocarbonados (Doctorovich y Aldabe, 2020).

#### **2.2.4. Tereftalato de polietileno**

Polímero semicristalino de textura amorfa, que es producto de la polimerización del etilenglicol y del ácido tereftálico (Suasnavas, 2017). Se utiliza ampliamente para la producción de botellas de PET.

#### **2.2.5. Tereftalato de polibutileno**

Termoplástico derivado de la policondensación de ácido tereftálico y butanodiol. Tiene propiedades como resistencia al impacto y a la tracción, poca absorción de humedad y buenas conexiones eléctricas, por esa razón, es muy utilizado en el área electrónica al igual que en la industria automotriz como por ejemplo en los limpiaparabrisas. (Yu *et al.*, 2019).

#### **2.2.6. Polipropileno**

Polímero muy duro, semicristalino, blanco, termoplástico utilizado en productos de diferentes calidades y modalidades, sobre todo en piezas que requieren de resistencia química, peso liviano y fricción fina (Monzó, 2015). Este tipo de plástico tiene muchas aplicaciones y se lo puede encontrar principalmente en vasos de plástico y recipientes destinados a la alimentación.

#### **2.2.7. Poliestireno**

Polímero termoplástico duro y económico que se obtiene a través de la adición de varias moléculas de estireno, es ampliamente utilizado para la fabricación de materiales que necesiten transparencia como envases de comida (Ocles, 2017).

### **2.2.8. Macroplásticos**

Plásticos con tamaño superior a 25 mm que se pueden ver a simple vista, se originan por las actividades diarias que realizan las personas y son susceptibles a convertirse en tamaño más pequeños por procesos de degradación, fotodegradación e hidrólisis (Nurhasanah *et al.*, 2021).

### **2.2.9. Mesoplásticos**

Polímeros con un tamaño que oscilan entre 5mm a 25 mm (Nurhasanah *et al.*, 2021), se encuentran disponibles para los organismos y Hartmann *et al.* (2019) manifiesta que se acumulan de forma indiferenciada porque son abundantes y están presentes en todos lados.

### **2.2.10. Nanoplásticos**

Partículas de plástico que tienen un tamaño menor a una dimensión en la nanoescala (Mattsson *et al.*, 2015). Es muy poco estudiado por la limitada información sobre su concentración en el medio ambiente, pero existen varias fuentes que producen la formación de estos nanoplásticos, entre ellos está la desintegración de plásticos más grandes o de forma indirecta por la acción de algunos productos.

### **2.2.11. Microplásticos**

Micropartículas provenientes del plástico con un tamaño que oscila entre 1  $\mu\text{m}$  y 5 mm. Se caracterizan por ser insolubles en el agua y tener una forma regular o irregular, ya sea de origen primario o secundario (Ragusa *et al.*, 2021).

#### **2.2.12. Microplásticos secundarios**

Fragmentos que se originan de otros artículos de plástico más grandes. Además, existen una gran variedad de forma, tamaño, color y tipo, debido a la descomposición continua de los plásticos como fibras, fragmentos de plástico, etc (Loganathan Kizhakedathil, 2023b).

#### **2.2.13. Microplásticos primarios**

Plásticos fabricados originalmente en un rango menor a 5 mm para uso directo o como precursores de otros productos como las fibras sintéticas, los pellets industriales y las microperlas usadas en productos cosméticos. Su forma variada está determinada por su origen y función, tales como: esféricos, cilíndricos, discoidales o cúbicos (Xanthos y Walker, 2017).

#### **2.2.14. Fragmentos**

Residuos con diámetro microscópico que se originan de la fragmentación de plásticos de gran tamaño.

#### **2.2.15. Fibras plásticas**

Micropartículas plásticas que se obtienen de la degradación de diferentes productos provenientes del plástico y, además, tienen una longitud y un ancho variable.

#### **2.2.16. Pellets**

Gránulos de plástico con un tamaño que oscila entre 1 mm cilíndricos a 5 mm (Sánchez, 2015). Son los más abundantes en las costas del mundo con diversas formas ovoides esféricas.

### **2.2.17. Rojo de Nilo**

Tinte fluorescente solvatocrómico, muy utilizado por varios investigadores, cabe recalcar que esta metodología de tinción no es costosa por lo que es fácil de estandarizar en muestras tomadas de matrices ambientales. Además, se utiliza para la identificación de microplásticos en la microscopía invertida de fluorescencia y no afecta en los resultados obtenidos del FTIR ni espectroscopia Raman.

### **2.2.18. Fluorescencia**

Tipo de luminiscencia en la que las moléculas pueden capturar la luz en ciertas longitudes de onda de excitación y producir en longitudes de ondas más largas (Sezgin, 2017). Tiene gran utilidad en la microscopía para poder observar la distribución de moléculas específicas.

### **2.2.19. Espectroscopía**

En base al Diccionario Enciclopédico de Arqueología (2021), la espectroscopía estudia la relación que existe entre la materia y la radiación electromagnética. Los datos espectroscópicos están representado a través de un espectro de emisión de acuerdo con la longitud de onda o la frecuencia.

### **2.2.20. Agua potable**

El agua que se somete a un tratamiento previo es considerada como agua potable, siendo idónea para el consumo de la población sin el riesgo que cause efectos negativos en la salud. El método universal más utilizado para potabilizar el agua en las plantas de tratamiento es mediante el uso de la cloración. Según Daud *et al.* (2017) el agua potable debe ser libre de color, turbidez, olor, al igual de no presentar microorganismos patógenos y sustancias tóxicas

que pueda causar daño en la integridad humana especialmente en la salud y tiene que cumplir normas de calidad que son reguladas con las entidades de normalización.

#### **2.2.21. Planta de Agua Potable**

Construcciones civiles o instalaciones hidráulicas donde se lleva a cabo diversos tratamientos en el agua con el propósito de que sea apta para el consumo humano. La planta de tratamiento de agua potable está conformada por diferentes operaciones unitarias de índole fisicoquímicos, tales como captación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, que se emplean para eliminar elementos patógenos y distribuir el líquido en condiciones apropiadas para su consumo (Aguirre, 2015).

#### **2.2.22. Captación**

Estructura construida a nivel del suelo con el objetivo de recoger y almacenar agua proveniente de los ríos, lagos y embalses, ya sea de por gravedad o por bombeo con la finalidad de garantizar el suministro del recurso a toda una población. Sin embargo, al ser aguas superficiales pueden tener un grado de contaminación, por lo que deben pasar por una serie de tratamientos para modificar sus características físico, químicas y microbiológicas con el propósito de que sean aptas para el consumo humano (Comisión Nacional del Agua, 2019).

#### **2.2.23. Potabilización**

Agua cruda que se transformada en agua potable tras una serie de tratamientos y que, además, cumple con todos los requisitos establecidos para su consumo según las entidades regulatorias de sanidad vigentes. (Comisión Nacional del Agua, 2019).



#### **2.2.24. Red domiciliaria**

Conjunto de tuberías y estructuras que transportan agua desde los tanques de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Las redes domiciliarias tienen como finalidad suministrar agua al consumidor todo el tiempo, en cantidades suficientes, de buena calidad y a una adecuada presión (Comisión Nacional del Agua, 2019).

### **2.3. BASES TEÓRICAS**

Como expresa Awasthi *et al.* (2017) en resumen, los plásticos son ampliamente utilizados en la vida diaria en diferentes aspectos desde invernaderos, revestimientos, cableado, bolsas de transporte, objetos de plástico en la cocina como utensilios y bidones, aplicaciones industriales, piezas de automóviles, entre otros. Con el transcurso del tiempo, el desarrollo de la economía social ha generado que se fabriquen más rápido y en grandes cantidades productos electrónicos, por lo que, muchos de estos equipos que se usan por poco tiempo no llegan a satisfacer las necesidades de las personas haciendo que sean reemplazados por nuevos productos más actualizados, en consecuencia, estos plásticos se vuelven en residuos en un año o en un solo uso.

Se considera que cada año ingresa al océano de 5 a 13 millones de toneladas métricas de plástico (Geyer *et al.*, 2017). Como es el caso del Gran Parche de Basura del Pacífico, se ha acumulado hasta al momento más de 1,8 billones de piezas de plástico con un peso estimado de 80000 toneladas (Lebreton *et al.*, 2018).

#### **2.3.1. Efectos generados por plásticos**

A pesar de que el plástico es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial ocasiona efectos negativos en los ecosistemas y en la salud de las personas. En cuanto a los ecosistemas marinos, López *et al.* (2020) menciona que los plásticos son absorbidos por la

fauna marina cuando ingresan a los océanos, ocasionando que se acumulen en el tracto respiratorio y como consecuencia, genera pérdida de apetito o una falla en su sistema digestivo y eventualmente la muerte. Además, la fauna puede enredarse en los plásticos ocasionándoles asfixia, inmovilización o disformidades.

En cuanto a la salud, las personas están expuestas a lo largo de todo el ciclo de vida del plástico a sustancias químicas y tóxicas por medio de la inhalación, ingestión y contacto directo con la piel, ocasionando enfermedades cancerígenas, mal funcionamiento cardiaco, afecciones al sistema reproductivo, nervioso y respiratorio, daños en los riñones e hígado (Shen *et al.* 2017).

Según la Organización de las Naciones Unidas (2018) los plásticos afectan negativamente a los paisajes naturales y artificiales por el mal manejo de los desechos, ocasionando que exista un desagrado por los seres humanos, además, se convierten en ambientes poco seguros porque hay el riesgo de contraer enfermedades transmitidas por vectores como el dengue, paludismos, entre otros, esto se debe a que los desechos de plásticos pueden obstruirse en alcantarillas, creando ambientes idóneos para mosquitos y plagas.

### **2.3.2. Proceso de degradación de los Plásticos**

Los procesos tanto químicos, físicos o biológicos juegan un papel importante con respecto a la fragmentación de los plásticos, si bien es cierto estos entran en proceso de degradación en el ambiente, sin embargo, no de eliminación, ya que se evidencia la presencia de pequeñas partículas microscópicas en varias fuentes hídricas al igual que animales marítimos, la incidencia de la degradación de los microplásticos, término utilizado para definir a todas las partículas menores a 5 mm (Rojo y Montoto, 2017) .

### 2.3.3. Clasificación del plástico según su tamaño

En base a los estudios realizados por Crawford y Quinn (2017) en la tabla 1 está la clasificación de los plásticos según su tamaño.

**Tabla 1**

Clasificación del plástico en base a su tamaño.

| Categoría      | Abreviatura | Rango de Tamaño             |
|----------------|-------------|-----------------------------|
| Macroplásticos | MAP         | > 25 mm                     |
| Mesoplásticos  | MEP         | 5mm < 25 mm                 |
| Microplásticos | MIP         | 1 $\mu\text{m}$ $\leq$ 5 mm |
| Nanoplásticos  | NP          | < 1 $\mu\text{m}$           |

*Nota.* Fuente: Adaptado de Crawford y Quinn (2017) p. 102

### 2.3.4. Clasificación de los Microplásticos de acuerdo con su forma

Los microplásticos se clasifican según su forma en láminas (películas), fragmentos, fibras, pellets y espumas. La clasificación morfológica de las partículas microscópicas de plástico se le atribuye a su origen, sin embargo, no está establecido y puede ser situaciones que ocurran al azar.

### 2.3.5. Procedencia y distribución de los microplásticos

Las diferentes fuentes que ocasionan la presencia de microplásticos en los sistemas acuáticos aumentando su cantidad y afectando la vida de su fauna marina son a través de la fabricación de productos plásticos, agua, plantas de tratamiento de aguas residuales, desperdicios generados por las industrias y las actividades agrícolas, degradación del plástico y pesca (Xue *et al.*, 2020).

En el área agrícola, el uso de fertilizantes en microcápsulas para prevenir la lixiviación de nitratos a las aguas que se encuentran bajo la superficie de la tierra son una gran fuente de microplásticos hacia los océanos por medio de los canales de los arrozales incrementando su presencia durante el riego (Katsumi *et al.*, 2020).

El tamaño pequeño y las bajas densidades de los microplásticos genera que se dispersen en el ambiente por intermedio de los fuertes vientos y olas dando como resultado que los microplásticos se encuentren en cualquier lugar. En consecuencia, se transforman accidentalmente en alimento para la fauna acuática y terrestre, que posteriormente son consumidos por los organismos superiores en la red alimentaria.

En base a lo mencionado por Choy *et al.* (2019) las micropartículas de plástico en los ecosistemas de agua dulce están relacionadas con todas las actividades antropogénicas, debido a que el gran número de plástico presente en los ríos se asocia con la densidad de la población, la urbanización, el tratamiento de aguas residuales y la gestión de los residuos sólidos.

### **2.3.6. Impactos producidos por los microplásticos**

Según los estudios de Rajhans *et al.* (2019) los microplásticos tienen la capacidad de acumularse con mucha facilidad y de liberar sustancias orgánicas peligrosas como dicloro difenil tricloroetano, éteres de difenilo polibromados y otros aditivos que se incorporan por la fabricación que se encuentra en el agua. Sin embargo, aquellos microplásticos sin aditivos no son químicamente peligrosos para la fauna acuática, pero genera obstrucciones intestinales (Udayakumar *et al.*, 2021).

Las características de los microplásticos hacen que sean persistentes en los ecosistemas acuáticos y de esta forma, transfiriéndose a los organismos presentes en el agua. Su tamaño limitado ocasiona que muchas especies acuáticas los absorban, alterando sus funciones fisiológicas, que después se distribuyen por la red alimentaria, dado que los microplásticos pueden provocar inconvenientes en varios organismos, en la salud de las personas no se ha podido demostrar, pero actualmente son motivo de interés y estudio. De acuerdo con lo mencionado por Smith *et al.*, (2018) existe una posibilidad de que los microplásticos se transfieran a los humanos.

### **2.3.7. Planta de Agua Potable “El Cebollar”**

De acuerdo con la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca, ETAPA, la Planta de El Cebollar se encuentra ubicada en las coordenadas UTM WGS 84 9680789.00 Norte y 720182.00 Este de la ciudad de Cuenca perteneciente a la provincia de Azuay a 2639 *m. s. n. m*, utilizando un área total de 89720 *m*<sup>2</sup> y con una capacidad instalada de 1000 *l/s*.

La Planta se encarga del tratamiento del agua desde 1949, con el pasar de los años ha ido ampliando su capacidad inicial del procesamiento. Actualmente abastece a 90000 domicilios de la ciudad y cuenta con un sistema de tratamiento convencional formado por las siguientes etapas: captación, conducción, floculación, sedimentación, filtración, desinfección.

### **2.3.8. Técnicas de extracción de microplásticos de diferentes matrices**

### **2.3.9. Tamizaje**

Proceso mecánico mediante el cual se genera la separación de partículas en base a su tamaño con el uso de mallas de diferentes aberturas.

### **2.3.9.1. Digestión**

La digestión consiste en un proceso por el cual se preparan las muestras para analizar los microplásticos mediante la eliminación de la materia orgánica (Pfeiffer y Fischer, 2020). En base a las investigaciones por Dehaut *et al.*, (2016) mencionan que se han implementado algunos métodos para la obtención de microplásticos, fundamentándose en la digestión de las muestras, entre los cuales se clasifican en ácidos, alcalinos, oxidativos y enzimáticos. Sin embargo, estos procedimientos dependen de la cantidad de las muestras, de su origen y del tamaño de los fragmentos.

#### **2.3.9.1.1. Digestión alcalina**

El objetivo principal de la digestión alcalina es la degradación de proteínas mediante el proceso de desnaturalización mediante la hidrólisis de enlaces químicos, cabe mencionar que el proceso alcalino es menos agresivo que la digestión ácida, lo que beneficia directamente a las partículas microscópicas al detener el deterioro del polímero (Miller *et al.*, 2017).

#### **2.3.9.1.2. Digestión ácida**

La digestión ácida es un método muy empleado para aislar pellets, fibras y fragmentos, además, elimina el tejido orgánico y obtiene solamente sílice y residuos microplásticos. Sin embargo, dependiendo de la disolución utilizada, puede ser capaz de destruir o degradar en menos tiempo los polímeros, generando daños en distintos grados (Lusher *et al.*, 2017).

Los ácidos más utilizados son:

- Peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 15%, 30% o 35%.

- Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) al 5%, 35%, 65% o 69%.
- Ácido clorhídrico (HCL) al 5%, 37%.

### **2.3.9.1.3. Digestión enzimática**

Este procedimiento se basa en el empleo de enzimas, con la finalidad de descomponer tejidos blandos e hidrolizar las proteínas. Un inconveniente que presenta este método es el uso de soluciones uniformes como por ejemplo tampón Tris-HCL 400 mililitros (Lusher *et al.*, 2017).

### **2.3.9.2. Microfiltración**

Es una técnica que se basa en la separación de sustancias, pueden estar en distintos estados de la materia como líquidos o gases, con la ayuda de una membrana de nitrocelulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  que separa dos fases del proceso, la alimentación y la salida, en donde las micropartículas plásticas permanecerán en la parte superior de la membrana de nitrocelulosa.

#### **2.3.9.2.1. Características de los filtros de nitrocelulosa de 0,45 $\mu\text{m}$**

Compuestos por nitrato de celulosa, es muy utilizado para muchas aplicaciones en el laboratorio, debido a su facilidad de filtrar soluciones acuosas o preparar muestras acuosas y de aire.

- **Características**
  - Alta absorción no específica
  - Afinidad del agua
- **Aplicaciones**
  - Retención de partículas
  - Filtración clara

## **2.3.10. Métodos de evaluación de microplásticos**

### **2.3.10.1. Microscopía óptica**

La microscopía óptica tiene como fuente de iluminación la luz visible y se utiliza para la identificación de morfologías de células y tejidos, sin embargo, su resolución es de 200 nm, es decir, aproximadamente a la mitad de la longitud de onda de la luz visible (Ryan *et al.*, 2021)

### **2.3.10.2. Microscopía invertida de fluorescencia**

La microscopía de fluorescencia permite visualizar la distribución, concentración y su ubicación de una molécula específica dentro de una célula u objeto. También ayuda a la detección de micropartículas de plástico que tengan fluorescencia propia o adquirida por tintes fluorescentes, en este caso se utilizó Rojo de Nilo para emitir fluorescencia en el filtro de Nitrocelulosa.

### **2.3.10.3. Caracterización de microplásticos**

La caracterización de microplásticos se basa en la identificación visual de la forma, siendo esta fibra, fragmento o pellet, al igual que su color, mediante la visualización en campo claro de las partículas que se identifica en la microscopía de fluorescencia, la cantidad, por último, dimensiones y tamaño de cada partícula.

## **2.3.11. Métodos de identificación de microplásticos**

### **2.3.11.1. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

Es una técnica que se basa en la generación de espectros de reflexión de las bandas de algunos grupos funcionales encontrados en las sustancias a procesar, teniendo en cuenta que la espectroscopia infrarroja (FTIR) posee una amplia biblioteca para generar una comparación de polímeros y plásticos, alimentos,



productos farmacéuticos, etc. Es por eso por lo que se utiliza para la identificación de la tipología de los microplásticos.

La región IR del espectro electromagnético tiene lugar en un rango de:

12800 – 10cm<sup>-1</sup> y se divide en tres zonas las cuales se evidencian a continuación:

- 12800 – 4000 cm<sup>-1</sup>: IR cercano
  - 4000 – 400 cm<sup>-1</sup>: IR medio
  - 400 – 10 cm<sup>-1</sup>: IR Lejano
- **Preparación de la muestra**

Esto depende del tipo de muestra que se pretende trabajar, puede ser líquido o sólido, en el caso de esta investigación se utiliza la muestra sólida, ya que los microplásticos se encuentran en el filtro de nitrocelulosa.

- **Interpretación y análisis de los resultados**

La interpretación de los resultados de las muestras se basa en los espectros generados en la corrida de la muestra, dependiendo de las curvas de amplificación generadas se define los grupos funcionales de la sustancia y la coincidencia de la librería del programa OMINIC y OMINIC Specta.

### **2.3.11.2. Espectroscopía Raman**

La espectroscopía de Raman es una técnica fotónica que permite identificar la estructura química de cualquier tipo de compuesto orgánico e inorgánico. Además, su gran resolución ayuda a identificar microplásticos de tamaño inferior a 20 μm (Ortega, 2020) y

proporciona numerosas ventajas tales como: rápido análisis con poca cantidad de muestra, no destructivo y amigable con el medio ambiente (Toledo, 2019).

## CAPITULO 3

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Localización del Área de Estudio

El estudio se desarrolló en la ciudad de Cuenca, en la zona urbana abastecida de agua potable por medio del Sistema de Potabilización de Agua Tomebamba, área ubicada al noroeste de la ciudad a 2639 m.s.n.m.

#### 3.1. Enfoque de investigación

La orientación racional que sirve para resolver un tipo de problema, en nuestro caso, un problema repetitivo por el cual ya se obtuvo una solución metodológica exitosa, por lo que se determina que nuestro sistema es racional y los métodos de investigación son deductivos.

El enfoque de la investigación realizado en este estudio es cuantitativo, puesto que el objetivo se centra en la descripción numérica de la variable de caracterización o independiente, al igual que cualitativo, debido a que se identifica el tipo de microplásticos que está presente en cada muestra analizada. Por último, la lógica empleada es de tipo deductivo, de lo general a lo individual.

#### 3.2. Nivel de la investigación

La investigación es de tipo exploratoria, debido a la información limitada con respecto a la detección de partículas microscópicas derivadas del plástico, al igual de tipo descriptiva, puesto que se establecerá un detalle completo de la situación investigada en el momento de la recolección de la información. El nivel de investigación seleccionado ayudará a analizar e interpretar las cifras obtenidas durante el estudio, en forma clara y precisa, donde

aquellos datos o elementos ayudarán a concluir la pregunta de investigación que se planteó con anterioridad en las muestras de agua provenientes de los sistemas de potabilización Tomebamba de la ciudad de Cuenca.

### **3.3. Diseño de la investigación**

La investigación es de tipo documental, mediante las técnicas de análisis documental se identificó material bibliográfico de bases de datos, tanto impresas (tesis, libros y trabajos de grado), al igual que bases de datos electrónicos (revistas científicas, SCOPUS, NCBI y IEEE Explore), utilizando instrumentos como cuadros de registros, clasificación de categorías y además, se hizo uso de análisis de contenidos con el propósito de definir la técnica más eficaz para su aplicación en esta investigación. Adicionalmente se encuentra un diseño de campo a través del que se levanta información de las muestras tomadas del sistema de potabilización, y de la red domiciliaria, obteniendo datos cualitativos y cuantitativos de extracción, evaluación e identificación de microplásticos, por medio de la observación y determinación de tamaño y dimensión ayudados por microscopía invertida y del análisis de espectrogramas para la clasificación de microplásticos en las diferentes muestras de aguas analizadas, que se realizaron en el laboratorio para generar parámetros mediante pruebas estandarizadas, los mismos que nos permitieron establecer datos obtenidos de las muestras de la captación, ingreso a la Red de Distribución y red domiciliaria, utilizando instrumentos generalmente no estructurados como diario de campo, cámara y estructuradas como lista de cotejo.

### **3.4. Población y muestra**

La actual investigación se trabajó con una población finita y accesible, ya que, se basa en el Sistema de Potabilización de Agua Tomebamba que abastece a 90000 familias de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

El muestreo aleatorio se fijó en tres puntos del Sistema Tomebamba, tales como: captación, ingreso a la red distribución y red domiciliaria. Tomando en consideración que las muestras tomadas son de tipo compuestas.

Con respecto a la captación y al ingreso a la red distribución se realizó un muestreo al azar simple; en la norma no existe un parámetro en relación a los microplásticos, sin embargo, para la toma de muestra se basó en la norma INEN 1108 apéndice Y para el análisis microbiológico en el sistema de distribución de agua potable por año, se calculó que para muestras menores de 100000 habitantes se debe tomar 12 muestras por cada 5000, se resume en 18 muestras por mes y en esta investigación se decidió realizar 33 muestras compuestas para cada uno de los procesos antes mencionados.

Para la determinación del tamaño de muestra en la red domiciliaria se consideró una muestra representativa de la población (90000 habitantes) para lo cual se estableció un muestreo al azar simple, donde se utilizó la fórmula de cálculo del número de muestras, con un nivel de confianza del 95% y un error muestral de 17,25 dando un resultado de 33 muestras compuestas.

### 3.5. Variables

#### 3.5.1. Sistemas de variables

- **Variable Independiente**

Puntos de muestreo, tales como: captación, ingreso a la red de distribución y red domiciliaria.

- **Variable Dependiente**

Microplásticos

#### 3.5.2. Operacionalización de variables

En la tabla 2 se presentan las variables de la investigación en una matriz de Operacionalización.

**Tabla 2.**

*Matriz Operacionalización de Variables.*

| <b>Variables</b>                                | <b>Definición</b>  | <b>Dimensiones</b>  | <b>Indicadores</b>  |
|---|--|---|---|
| <b>Independiente:<br/>Punto de<br/>muestreo</b> | Lugar en la cual se va a proceder a tomar la muestra.                      | Captación<br>Ingreso a la red de distribución<br>Red domiciliaria | -   |
| <b>Dependiente:<br/>microplásticos</b>          | Son aquellas partículas que en su mayor dimensión tienen como máximo 5 mm. | Cantidad<br>Tamaño<br>Forma                                       | Número de Partículas totales (fragmentos + fibras)<br>Dimensiones |

---

| Tipo | Número de Fragmentos | Número de Fibras | Clase |
|------|----------------------|------------------|-------|
|------|----------------------|------------------|-------|

---

*Nota.* Fuente: Autores

### **3.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

De acuerdo con el diseño de investigación se utilizaron las técnicas de análisis documental mediante el uso de base de datos como Repositorios Universitarios, SCOPUS, NCBI y IEEE EXPLORE con la finalidad de identificar los métodos de detección de microplásticos en el agua. Además, se empleó el análisis de contenido donde se utilizó el gestor bibliográfico Mendeley, Zotero y la técnica de observación por medio de los instrumentos clasificados en dos tipos: la observación estructurada por medio del protocolo trabajado en el laboratorio empleando los equipos de microscopía invertida de fluorescencia para la cuantificación de MP y la espectroscopia transformada de Fourier para determinar el tipo,

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

En el manejo de datos estadísticos se determinó la técnica de procesamiento de datos para lo cual se desarrolló para todas las dimensiones establecidas en la variable independiente, realizó una clasificación, tabulación y registro, mediante el uso de programas de Microsoft Excel 2016, SPSS y Rstudio para el desarrollo de tablas, gráficas y estadística descriptiva.

Con referencia al análisis estadística se utilizó ANOVA con una variable de entrada denominado punto de muestreo, que tiene tres niveles: captación, ingreso a la red de

distribución y red domiciliaria y una variable de salida (número de microplásticos), considerando la cantidad, cuyo indicador es el número total de partículas (fragmentos + fibras) con el fin de establecer si existe un incremento o disminución de la cantidad de microplásticos en los diferentes procesos del Sistema de Potabilización de agua Tomebamba, tales como Captación, Ingreso a la red de distribución y Red domiciliaria.

### 3.8. Materiales y equipos

Los materiales, reactivos y equipos a utilizar en esta investigación se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Descripción de los materiales, equipos y reactivos utilizados.*

| <b>Materiales</b>         | <b>Equipos</b>           | <b>Reactivos</b>         |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Probeta de 250 ml y 25 ml | Autoclave                | Peróxido de Hidrógeno al |
| Balón de aforo de 5000 ml | Equipo de filtración al  | 30%                      |
| Matraces Erlenmeyer de    | vacío (Embudo Büchner,   | Agua destilada           |
| 500 ml                    | matraz Kitasato 1000 ml, | Rojo de Nilo             |
| Tamiz de 90 µm            | bomba al vacío)          |                          |
| Cajas Petri               | Estufa                   |                          |
| Pinzas metálicas          | Microscopio invertido de |                          |
| Porta objetos             | fluorescencia            |                          |
| Papel aluminio            |                          |                          |



---

|  |   |
|--|---|
| Filtros de nitrocelulosa de<br>diámetro 47 mm/ 0,45 µm /<br>estéril PK/100 | Espectroscopia de la<br>transformada de Fourier<br>(FTIR) |
| Botellas de vidrio color<br>ámbar de 1L                                    |   |
| Tapas de corchos   |   |

---

*Nota.* Fuente: Autores

### **3.9. Metodología de levantamiento de información**

En esta sección se busca evaluar varios parámetros para la detección de microplásticos presentes en el agua del Sistema Tomebamba de la ciudad de Cuenca - Ecuador, la metodología se basó en estudios similares por lo que se propone los siguientes procesos:

#### **3.9.1. Puntos de muestreo**

En el Sistema de Potabilización Tomebamba se procedió a generar tres puntos de muestreo como captación, ingreso a la red de distribución y red domiciliaria de fácil alcance para el usuario que realiza el muestreo.

### 3.9.2. Punto de muestreo, volumen y número de muestras

**Tabla 4**

*Puntos de muestreo.*

| <b>CÓDIGO</b> | <b>PUNTO DE MUESTREO</b>                                    | <b>UBICACIÓN</b>                                       | <b>VOLUMEN MUESTRA (cm<sup>3</sup>)</b> | <b>No. MUESTRAS (Unidad)</b> |
|---------------|---|--|---|------------------------------|
| <b>C</b>      | Captación<br>(Agua Cruda)                                   | Planta de<br>Potabilización<br>"El Cebollar"           | 1000                                    | 33                           |
| <b>I</b>      | Ingreso a la<br>red de<br>distribución<br>(Agua<br>Potable) | Planta de<br>Potabilización<br>"El Cebollar"           | 1000                                    | 33                           |
| <b>R</b>      | Red<br>Domiciliaria   | Población que<br>abastece la<br>Panta "El<br>Cebollar" | 1000                                    | 33                           |
| <b>TOTAL</b>  |   |  |   | <b>99</b>                    |

*Nota.* Fuente: Autores

### 3.9.2. Toma de muestras

La fase de muestreo se realizó en tres procesos del sistema de Potabilización Tomebamba: Captación (agua cruda), Ingreso a la red de distribución (agua potable) y Redes Domiciliarias, se basó en la normativa ecuatoriana INEN 2176 de calidad de agua y técnicas de muestreo para el análisis microbiológico y físico, debido a la inexistencia de la técnica de

la toma de muestra de agua potable. Esta norma define parámetros establecidos para la toma de muestras, tales como: los recipientes empleados para la toma de muestras tienen que ser de vidrio, debido a que, los recipientes de plástico interfieren con el análisis. Además, el tipo de muestra empleado en esta investigación es de tipo compuesta con periodicidad de intervalos de tiempo fijos de 10 minutos mediante un mecanismo cronometrado para iniciar y finalizar la recolección del agua.

La muestra se realizó en tres semanas, la misma que tuvo inicio el 02 de mayo del 2022 y finalizó el 03 de junio del 2022, se recogieron en botellas de vidrio color ámbar con tapa de corcho basándose en la norma INEN 2176. La técnica empleada consistió en recolectar tres muestras de agua (1L c/u) cada 10 minutos, luego se procedió a homogenizarlas para obtener una muestra compuesta, una vez obtenido las muestras compuestas de una capacidad volumétrica de 1000 ml, a continuación se selló según la norma INEN 2169, indicando que debe ser un proceso rápido y hermético para evitar la contaminación cruzada y posteriormente se rotuló de acuerdo a su codificación (punto de muestreo-fecha y hora de toma de muestra- número de muestra por día) como indica la norma INEN 2176 en el apartado de rotulación y el mismo proceso se realizó en todas las muestras cada 15 días por triplicado.

Lo antes mencionado, se cumplió en cada uno de los puntos de muestreo, siendo tres los lugares seleccionados para esta investigación, por lo cual se obtuvo un total de 99 muestras, 33 en cada punto de muestreo y finalmente se trasladaron al laboratorio de Ciencias de la Vida perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca para proceder a su análisis.

### **3.9.3. Metodología para la extracción de microplásticos**

#### **3.9.3.1. Preparación de la muestra**

Una vez trasladadas las muestras al laboratorio; se procedió a tamizar cada una de las muestras de 1L mediante un tamiz de acero de 90  $\mu\text{m}$  y con la ayuda de una probeta se colocó 250 ml en su respectivo vaso de precipitación tomando en consideración la codificación de cada una de las réplicas.

#### **3.9.3.2. Digestión ácida**

Realizado el proceso de tamización, se adicionó 25 ml de peróxido de hidrógeno al 30% v/v a cada vaso de precipitación, se cubrió con papel aluminio y se dejaron en reposo durante 72 horas a temperatura ambiente con la finalidad de eliminar de las muestras de agua cualquier contenido de la materia orgánica.

#### **3.9.3.3. Microfiltración**

Transcurrido este tiempo, se realizó la extracción de los microplásticos con la ayuda del equipo de filtración al vacío y se filtraron todas las muestras utilizando los filtros de membrana de nitrato de celulosa (diámetro 47 mm / poro 0,45  $\mu\text{m}$  / estéril) PK/100. Finalizada la fase de microfiltración al vacío, los filtros fueron colocados en cajas Petri, se los cubrió con papel aluminio y se los dejó secar a temperatura ambiente por un lapso de 24 horas.

#### **3.9.3.4. Tinción Fluorescente**

Finalmente, se roseó a los filtros de nitrocelulosa con el tinte rojo Nilo (tiñe las micropartículas de plástico) y se los colocó en la estufa durante 1 hora a 60°C.

### **3.9.4. Metodología de caracterización de Microplásticos**

#### **3.9.4.1. Observación en microscopio invertido de fluorescencia**

El uso del microscopio invertido de fluorescencia y el software NIS-Elements AR ayudó a la evaluación de las partículas, se usó los lentes 4x y 10 x, con la finalidad de realizar el conteo, se procedió a seccionar el filtro en cuatro cuadrantes, mediante el movimiento de la platina de izquierda a derecha se realizó la observación con fluorescencia y se identificó fragmentos o fibras de microplásticos, realizando la caracterización de forma, cantidad, dimensión y tamaño.

### **3.9.5. Metodología de la identificación de Microplásticos**

#### **3.9.5.1. Espectrometría Infrarrojo con Transformada de Fourier**

Una vez identificado los microplásticos en los filtros de nitrocelulosa a través del microscopio invertido, se procedió con el proceso de identificación del tipo de microplásticos presente en cada muestra por medio del equipo FTIR, donde se comparó con el porcentaje de coincidencia de la biblioteca HR polímeros y plastificantes de ATR que se encuentra instalado en el software OMNIC Spectra y OMINIC.

## CAPITULO 4

### 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se evalúa algunos parámetros de partículas encontradas en cada una de las muestras teniendo en cuenta que se pudo observar el 100% con presencia de micropartículas plásticas y la caracterización de cada una de las muestras se evidencia continuación en las tablas.

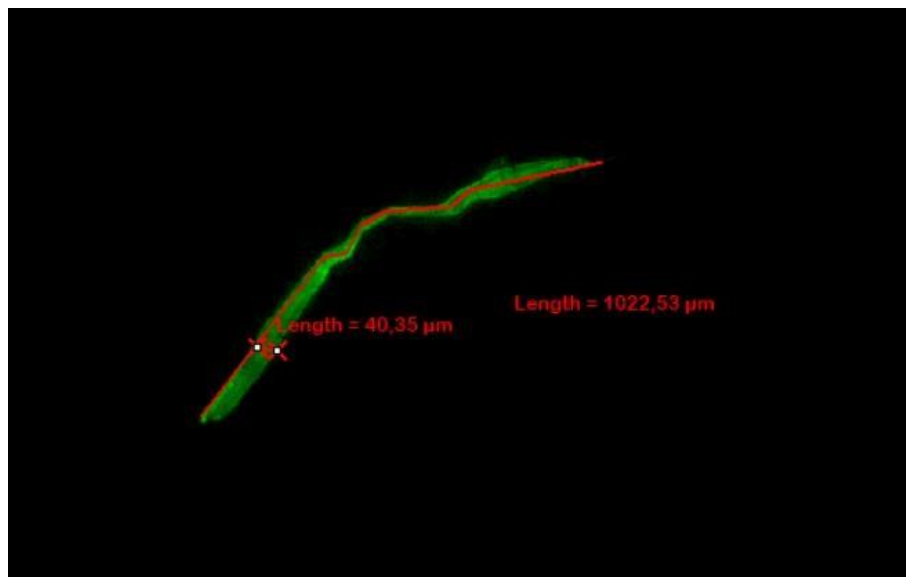
#### 4.1. Caracterización de microplásticos

Se procedió a la observación en el microscopio invertido de fluorescencia y se obtuvo los siguientes resultados:

##### 4.1.1. Morfología del microplásticos

#### Figura 1

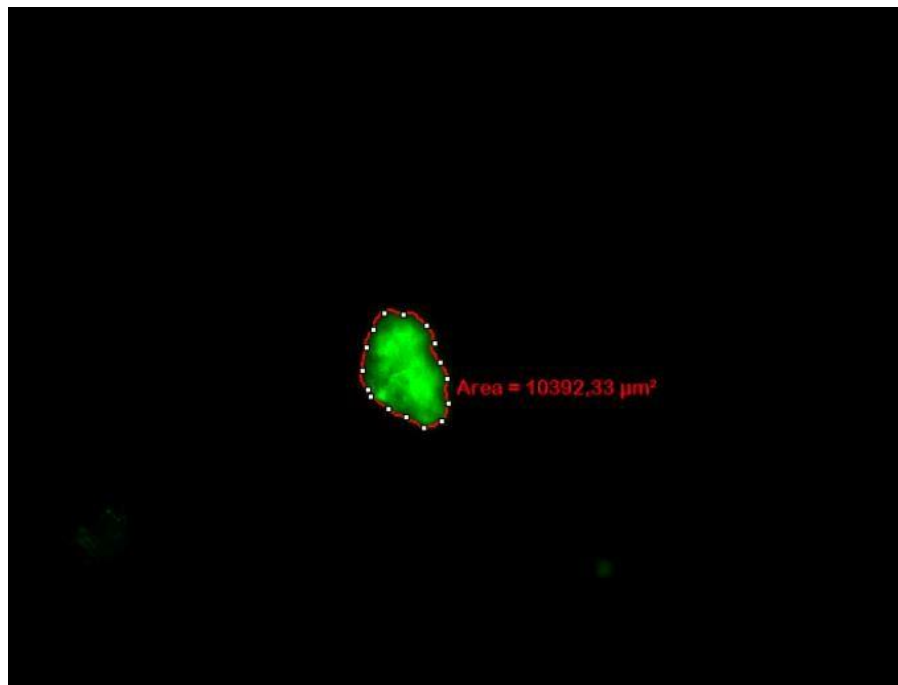
*Dimensiones de una fibra de microplásticos*



Fuente (Autores)

## Figura 2

*Dimensión de un fragmento de microplástico*



Fuente (Autores)

En la presente investigación se tiene la presencia de fibras y fragmentos, al igual que en un estudio de la bahía Buenaventura, Pacífico colombiano con 36 muestras en el estuario interno (EI) y estuario externo (EE) por un periodo de tiempo de cuatro años, la metodología utilizada fue la microscopia óptica, se logró identificar con mayor frecuencia fibras y fragmentos con porcentajes del 37% y 62,3% respectivamente. (Vidal *et al.*, 2021)

Sin embargo, en un estudio de Lima, Perú, mencionan que existe la presencia de microplásticos en sedimentos de los canales de riego en el centro de la ciudad, el objetivo principal del estudio es la identificación del tamaño, forma y color de los microplásticos encontrados en las muestras, con respecto a los resultados se determinó la presencia de

partículas entre 6 – 1000  $\mu\text{m}$ , la forma de microplásticos se identificó los fragmentos con mayor incidencia, teniendo en cuenta que no se encontró ni pellets ni fibras y el color de los fragmentos encontrados en las muestras fueron azules en su totalidad, por lo que en esta investigación la mayor incidencia de color fue rojo, azul y negro cuando se observa en campo claro, teniendo en cuenta que las mismas son fluorescentes en campo de fluorescencia verde, confirmando la presencia de MP.

#### 4.1.2. Cantidad de microplásticos

En esta investigación se muestra a la cantidad como partículas/250 mL, lo que se denominara a continuación como concentración

**Tabla 5**

*Concentración y Caracterización de partículas encontradas en 250 ml.*

| <b>Punto de Muestreo</b>      | <b>Nro. de Muestra</b> | <b>Fibras (partículas)</b> | <b>Fragmentos (partículas)</b> | <b>Concentración (partículas/250 ml)</b> |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| <b>Captación (Agua Cruda)</b> | M01                    | 4                          | 1                              | 5  |
|                               | M02                    | 12                         | 9                              | 21                                       |
|                               | M03                    | 19                         | 3                              | 22                                       |
|                               | M04                    | 10                         | 3                              | 13                                       |
|                               | M05                    | 19                         | 2                              | 21                                       |
|                               | M06                    | 11                         | 8                              | 19                                       |
|                               | M07                    | 28                         | 3                              | 31                                       |
|                               | M08                    | 11                         | 9                              | 20                                       |
|                               | M09                    | 10                         | 11                             | 21                                       |
|                               | M10                    | 6                          | 9                              | 15                                       |
|                               | M11                    | 12                         | 5                              | 17                                       |



---

|                            |     |    |    |    |
|----------------------------|-----|----|----|----|
| M12                        | 7   | 7  | 14 |    |
| M13                        | 13  | 8  | 21 |    |
| M14                        | 12  | 7  | 19 |    |
| M15                        | 5   | 3  | 8  |    |
| M16                        | 9   | 10 | 19 |    |
| M17                        | 9   | 5  | 14 |    |
| M18                        | 9   | 2  | 11 |    |
| M19                        | 10  | 9  | 19 |    |
| M20                        | 8   | 7  | 15 |    |
| M21                        | 11  | 4  | 15 |    |
| M22                        | 9   | 10 | 19 |    |
| M23                        | 13  | 7  | 20 |    |
| M24                        | 8   | 13 | 21 |    |
| M25                        | 6   | 14 | 20 |    |
| M26                        | 13  | 13 | 26 |    |
| M27                        | 9   | 13 | 22 |    |
| M28                        | 10  | 12 | 22 |    |
| M29                        | 5   | 4  | 9  |    |
| M30                        | 16  | 18 | 34 |    |
| M31                        | 10  | 15 | 25 |    |
| M32                        | 6   | 17 | 23 |    |
| M33                        | 7   | 18 | 25 |    |
| M01                        | 12  | 6  | 18 |    |
| M02                        | 12  | 1  | 13 |    |
| M03                        | 18  | 2  | 20 |    |
| <b>Ingreso a la Red de</b> | M04 | 5  | 6  | 11 |
| <b>Distribución</b>        | M05 | 3  | 8  | 11 |
| <b>(Agua Potable)</b>      | M06 | 12 | 15 | 27 |
|                            | M07 | 13 | 3  | 16 |
|                            | M08 | 13 | 6  | 19 |
|                            | M09 | 11 | 3  | 14 |

---

---

|                         |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|
| M10                     | 10 | 1  | 11 |
| M11                     | 13 | 3  | 16 |
| M12                     | 14 | 10 | 24 |
| M13                     | 14 | 9  | 23 |
| M14                     | 8  | 6  | 14 |
| M15                     | 2  | 6  | 8  |
| M16                     | 10 | 6  | 16 |
| M17                     | 12 | 5  | 17 |
| M18                     | 9  | 6  | 15 |
| M19                     | 7  | 4  | 11 |
| M20                     | 6  | 4  | 10 |
| M21                     | 11 | 1  | 12 |
| M22                     | 3  | 2  | 5  |
| M23                     | 11 | 19 | 30 |
| M24                     | 14 | 12 | 26 |
| M25                     | 10 | 17 | 27 |
| M26                     | 16 | 9  | 25 |
| M27                     | 10 | 17 | 27 |
| M28                     | 7  | 6  | 13 |
| M29                     | 9  | 3  | 12 |
| M30                     | 17 | 14 | 31 |
| M31                     | -  | 5  | 5  |
| M32                     | 6  | 9  | 15 |
| M33                     | -  | 5  | 5  |
| <b>Red Domiciliaria</b> |    |    |    |
| M01                     | 14 | -  | 14 |
| M02                     | 19 | 6  | 25 |
| M03                     | 19 | 4  | 23 |
| M04                     | 14 | 4  | 18 |
| M05                     | 6  | 6  | 12 |
| M06                     | 7  | 7  | 14 |
| M07                     | 14 | 3  | 17 |

---

|                          |    |    |              |
|--------------------------|----|----|--------------|
| M08                      | 18 | 4  | 22           |
| M09                      | 7  | 10 | 17           |
| M10                      | 16 | 9  | 25           |
| M11                      | 1  | 3  | 4            |
| M12                      | 11 | 5  | 16           |
| M13                      | 11 | 9  | 20           |
| M14                      | 9  | 18 | 27           |
| M15                      | 7  | 11 | 18           |
| M16                      | 10 | 6  | 16           |
| M17                      | 4  | 6  | 10           |
| M18                      | 14 | 9  | 23           |
| M19                      | 13 | 7  | 20           |
| M20                      | 4  | 6  | 10           |
| M21                      | 12 | 7  | 19           |
| M22                      | 2  | 5  | 7            |
| M23                      | 7  | 12 | 19           |
| M24                      | 12 | 18 | 30           |
| M25                      | 23 | 13 | 36           |
| M26                      | 16 | 9  | 25           |
| M27                      | 7  | 15 | 22           |
| M28                      | 9  | 12 | 21           |
| M29                      | 20 | 9  | 29           |
| M30                      | 9  | 8  | 17           |
| M31                      | 5  | 6  | 11           |
| M32                      | 11 | 18 | 29           |
| M33                      | 13 | 8  | 21           |
| <b>Promedio / 250 ml</b> |    |    | <b>18,28</b> |

*Nota.* Las celdas que contienen el siguiente símbolo (-) Se define como inexistencia de partículas microplásticas de esa forma. Fuente: Autores

En la gráfica se observa el promedio final de 18,28 partículas/250 ml, es decir un aproximado de 73,12 partículas/Litro, tomando en cuenta que en la investigación de Shen, *et al.*, (2021) evidencia la presencia de micropartículas plásticas en el agua dulce, con tres puntos de muestreo, en el río XiangJiang; Agua cruda, de la empresa ETAP; agua tratada y en las redes de distribución; agua de grifo, se realizó el estudio mediante técnicas de microscopia y FTIR teniendo como resultados: 275,3 partículas/L en el río XiangJiang, 351,9 partículas/L de la empresa ETAP y 343,5 partículas/L en las redes de distribución, los resultados obtenidos en la investigación de Shen *et al.*, varían con los resultados obtenidos en esta investigación, por lo que se atribuye esta variación a la densidad poblacional, sin embargo, los datos siguen la proporción densidad poblacional: partículas/L.

Además, en este estudio se obtuvo un 100% de las muestras con presencia de MP, es decir 99/99 muestras con presencia de MP, al igual que en Brasilia, donde se analizó 32 muestras de agua potable en un área residencial y comercial en la zona norte y sur, el 100 % de las muestras presentaron MP con una prevalencia de  $219 \pm 158$  en la zona norte y en cambio en la zona sur  $97 \pm 55$  p/500 mL, la cantidad de microplásticos encontrados en el agua es mucho mayor, sin embargo, se conoce que Brasilia es la segunda ciudad más poblada de Brasil teniendo 3,09 millones de habitantes, mencionando que los MP son originados por actividad antropogénica, es decir una relación directamente proporcional según Pratesi *et al.*, (2021).

#### **4.1.3. Tamaño de Microplásticos**

##### **Tabla 6**

*Determinación del tamaño de partículas en los puntos de muestreo*

| <b>Punto de Muestreo</b>          | <b>Nro. de Muestra</b> | <b>Fibras<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Fragmentos<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> |
|-----------------------------------|------------------------|--|--|
| <b>Captación<br/>(Agua Cruda)</b> | M01                    | 11,35 - 683,09                               | 49,05 - 55,32                                    |
|                                   | M02                    | 6,31 - 2043,46                               | 21,64 - 77,69                                    |
|                                   | M03                    | 14,1 - 3707,96                               | 15,28 - 63,90                                    |
|                                   | M04                    | 17,54 - 1414,8                               | 77,90 - 172,9                                    |
|                                   | M05                    | 17,46 - 3547,35                              | 117,89 - 207,76                                  |
|                                   | M06                    | 17,42 - 2129,59                              | 219,03 - 222,78                                  |
|                                   | M07                    | 19,97 - 4668,3                               | 213,81 - 189,90                                  |
|                                   | M08                    | 16,89 - 1618,85                              | 46,78 - 176,9                                    |
|                                   | M09                    | 14,92 - 816,76                               | 187,78 - 207,89                                  |
|                                   | M10                    | 10,85 - 662,17                               | 21,75 - 85,61                                    |
|                                   | M11                    | 11,44 - 2810,98                              | 56,45 - 118,88                                   |
|                                   | M12                    | 12,18 - 661,16                               | 29 - 118,34                                      |
|                                   | M13                    | 19,90 - 2968,65                              | 41,33 - 112,61                                   |
|                                   | M14                    | 14,83 - 1575,86                              | 38,32 - 143,47                                   |
|                                   | M15                    | 22,08 - 1602,12                              | 59,51 - 108,67                                   |
|                                   | M16                    | 11,94 - 1623,58                              | 24,23 - 137,79                                   |
|                                   | M17                    | 16,78 - 1627,44                              | 31,1 - 160,88                                    |
|                                   | M18                    | 9,38 - 1618,79                               | 49,43 - 53                                       |
|                                   | M19                    | 14,65 - 1807,14                              | 23,29 - 143,85                                   |
|                                   | M20                    | 7,74 - 4618,13                               | 14,45 - 154,57                                   |
|                                   | M21                    | 10,05 - 4783,76                              | 22,89 - 108,17                                   |
|                                   | M22                    | 17,3 - 1362,68                               | 39,34 - 70,62                                    |
|                                   | M23                    | 22,55 - 4914,16                              | 41,85 - 92,75                                    |
|                                   | M24                    | 14,65 - 906,22                               | 35,94 - 172,68                                   |
|                                   | M25                    | 13,66 - 1034,46                              | 9,93 - 91,36                                     |
|                                   | M26                    | 7,51 - 1676,11                               | 25,99 - 147,92                                   |
|                                   | M27                    | 11,34 - 2273,12                              | 25,15 - 222,99                                   |
|                                   | M28                    | 12,01 - 484,28                               | 37,25 - 132,92                                   |
|                                   | M29                    | 27,06 - 540,74                               | 32,33 - 131,45                                   |

---

|  |     |                 |                |
|--|-----|-----------------|----------------|
|  | M30 | 9,29 - 3176,66  | 15,64 - 208,16 |
|  | M31 | 10,56 - 4966,77 | 13,11 - 202,98 |
|  | M32 | 23,92 - 912,98  | 6,95 - 204,85  |
|  | M33 | 12,23 - 3474,63 | 17,32 - 139,58 |
| <b>Ingreso a la Red de<br/>Distribución<br/>(Agua Potable)</b> | M01 | 14,56 - 1853,66 | 44,14 - 238,57 |
|  | M02 | 11,65 - 3071,52 | 62,89 - 198    |
|  | M03 | 8,86 - 2710,57  | 71,15 - 167,51 |
|  | M04 | 14,56 - 897,23  | 38,85 - 92,99  |
|  | M05 | 20,85 - 854,13  | 41,29 - 148,48 |
|  | M06 | 17,45 - 1642,42 | 34,67 - 238,63 |
|  | M07 | 17,54 - 2905,75 | 61,37 - 61,78  |
|  | M08 | 9,69 - 4232,77  | 59,36 - 207,3  |
|  | M09 | 17,33 - 2189,12 | 63,39 - 125,78 |
|  | M10 | 25,59 - 1476,19 | 78,9 - 104,38  |
|  | M11 | 26,08 - 3614,92 | 108,46 - 162,9 |
|  | M12 | 17,3 - 3906,82  | 30,65 - 90,42  |
|  | M13 | 10,7 - 2182,45  | 18,75 - 92,19  |
|  | M14 | 22,08 - 1329,39 | 11,7 - 196,91  |
|  | M15 | 29,1 - 219,31   | 66,45 - 115,37 |
|  | M16 | 8,39 - 2010,99  | 25,29 - 90,86  |
|  | M17 | 20,6 - 1151,07  | 33,14 - 235,52 |
|  | M18 | 12,01 - 2458,56 | 35,6 - 50,41   |
|  | M19 | 17,85 - 2874,19 | 24,95 - 65,61  |
|  | M20 | 38,57 - 1608,81 | 63,27 - 95,29  |
|  | M21 | 18,62 - 1875,81 | 95,09 - 96,57  |
|  | M22 | 11,94 - 2056,23 | 19,71 - 71,28  |
|  | M23 | 14,29 - 2595    | 30,1 - 182,45  |
|  | M24 | 11,34 - 816,82  | 13,5 - 133,19  |
|  | M25 | 14,29 - 3287,82 | 25,66 - 124,77 |
|  | M26 | 15,53 - 1516,35 | 14,69 - 152,99 |
|  | M27 | 11,41 - 1383,79 | 30,42 - 69,69  |

---

---

|                         |     |                 |                |
|-------------------------|-----|-----------------|----------------|
|                         | M28 | 11,94 - 1798,33 | 53,87 - 76,69  |
|                         | M29 | 18,76 - 836,65  | 28,21 - 221,14 |
|                         | M30 | 13,85 - 485,48  | 13,35 - 89,88  |
|                         | M31 | -----           | 33,66 - 153,99 |
|                         | M32 | 21,27 - 1009,53 | 59,55 - 171,67 |
|                         | M33 | -----           | 22,74 - 171,15 |
| <b>Red Domiciliaria</b> | M01 | 24,22 - 2278,27 | ----           |
|                         | M02 | 9,61 - 2033,32  | 80,56 - 152,36 |
|                         | M03 | 8,77 - 1639,64  | 28,08 - 144,02 |
|                         | M04 | 23,45 - 2897,35 | 70,09 - 243,87 |
|                         | M05 | 20,73 - 493,78  | 62,2 - 81,03   |
|                         | M06 | 17,46 - 1020,71 | 65,15 - 127,83 |
|                         | M07 | 8,78 - 2102,85  | 58,95 - 65,44  |
|                         | M08 | 12,42 - 682,82  | 45,84 - 103,16 |
|                         | M09 | 12,01 - 1775,5  | 47,73 - 154,02 |
|                         | M10 | 15,01 - 1934,21 | 19,9 - 242,5   |
|                         | M11 | 18,57 - 1995,12 | 13,47 - 142,05 |
|                         | M12 | 11,87 - 2558,52 | 22,95 - 162,64 |
|                         | M13 | 16,78 - 1843,99 | 17,08 - 172,82 |
|                         | M14 | 14,1 - 2183,1   | 21,2 - 63,11   |
|                         | M15 | 17,25 - 2687,56 | 29,11 - 83,68  |
|                         | M16 | 13,27 - 2445,07 | 44,59 - 156,46 |
|                         | M17 | 16,03 - 2354,64 | 26,2 - 80,33   |
|                         | M18 | 11,41 - 1977,01 | 31,65 - 132,75 |
|                         | M19 | 31,95 - 590,51  | 27,85 - 162,53 |
|                         | M20 | 15,92 - 1017,78 | 11,82 - 121,22 |
|                         | M21 | 19,72 - 346,29  | 43,69 - 137,21 |
|                         | M22 | 16,14 - 1379,81 | 10,73 - 86,7   |
|                         | M23 | 15,53 - 1146,37 | 32,55 - 224,49 |
|                         | M24 | 11,41 - 1742,28 | 13,22 - 74,99  |
|                         | M25 | 23,22 - 1573,85 | 23,61 - 108,93 |

---

|                      |                       |                      |
|----------------------|-----------------------|----------------------|
| M26                  | 14,65 - 2200,71       | 11,04 - 97,06        |
| M27                  | 19,72 - 2091,83       | 41,9 - 171,59        |
| M28                  | 12,59 - 762,18        | 37,64 - 119,54       |
| M29                  | 15,92 - 4934,77       | 31,1 - 190,76        |
| M30                  | 25,26 - 1762,22       | 26,73 - 149,23       |
| M31                  | 9,38 - 1148,98        | 28,6 - 224,58        |
| M32                  | 13,07 - 3392,67       | 21,09 - 93,18        |
| M33                  | 47,49 - 2365,53       | 36,3 - 132,78        |
| <b>Rango General</b> | <b>6,31 – 4966,77</b> | <b>6,95 – 243,87</b> |

*Nota.* Las celdas que se encuentran con el siguiente símbolo (---) se definen como inexistencia de partículas microplásticas. Fuente: Autores

En la tabla 6 se evidencia el rango general tanto para las fibras de 6,31 – 4966,77  $\mu\text{m}$  y para los fragmentos de 6,95 – 243,87  $\mu\text{m}$ , teniendo en consideración que según Rojo y Montoto (2017), define a los microplásticos como partículas menores a 5 mm, de la misma forma en el estudio realizado por Malyuskin (2020) menciona que mediante espectroscopía de microondas y microscopía óptica encontró MP que tiene una longitud que varía desde los 50 $\mu\text{m}$  a los 5mm, concluyendo que la investigación está dentro de los parámetros establecidos.

Además, en la tesis realizada por Flores y Orozco (2022), mediante las técnicas de Microscopía invertida de Fluorescencia y FTIR detectaron la presencia de MP en el agua embotellada de la regional 6, donde tuvieron resultados de fibras y fragmentos, el rango evidenciado es de 102,64 a 840,20  $\mu\text{m}$  con respecto a las fibras y 4,4 – 248,29  $\mu\text{m}$  con respecto a los fragmentos, teniendo un parámetro establecido para los fragmentos, que los mismos deben ser menores a 250  $\mu\text{m}$  y las fibras menores a 5 mm, por consiguiente, la investigación cumple con los parámetros establecidos por Flores y Orozco.



Teniendo en cuenta que la fase de laboratorio se trabajó con 250 ml de cada muestra, se pretende demostrar la cuantificación de partículas de microplásticos ya sea fragmento o fibra en cada uno de los puntos de muestreo.

#### 4.1.4. Dimensión de Microplástico

**Tabla 7**

*Dimensiones de las partículas microscópicas de plástico.*

| <b>Punto de Muestreo</b>      | <b>Nro. de Muestra</b> | <b>Concentración (partículas/250 ml)</b> | <b>Promedio de dimensiones (µm)</b> |
|-------------------------------|------------------------|--|-------------------------------------|
|                               | M01                    | 5  | 7558,08                             |
|                               | M02                    | 21                                       | 4936,13                             |
|                               | M03                    | 22                                       | 9762,53                             |
|                               | M04                    | 13                                       | 4471,38                             |
|                               | M05                    | 21                                       | 4135,53                             |
|                               | M06                    | 19                                       | 1339,78                             |
|                               | M07                    | 31                                       | 1995,53                             |
| <b>Captación (Agua Cruda)</b> | M08                    | 20                                       | 6580,99                             |
|                               | M09                    | 21                                       | 4494,03                             |
|                               | M10                    | 15                                       | 3236,45                             |
|                               | M11                    | 17                                       | 1767,36                             |
|                               | M12                    | 14                                       | 5869,28                             |
|                               | M13                    | 21                                       | 3595,09                             |
|                               | M14                    | 19                                       | 5762,08                             |
|                               | M15                    | 8  | 4978,45                             |

---

|  |     |    |         |
|--|-----|----|---------|
|  | M16 | 19 | 3061,67 |
|  | M17 | 14 | 1978,58 |
|  | M18 | 11 | 2062,76 |
|  | M19 | 19 | 4143,49 |
|  | M20 | 15 | 4960,22 |
|  | M21 | 15 | 2864,4  |
|  | M22 | 19 | 4073,78 |
|  | M23 | 20 | 4155,22 |
|  | M24 | 21 | 5246,6  |
|  | M25 | 20 | 1147,59 |
|  | M26 | 26 | 6517,45 |
|  | M27 | 22 | 8526,99 |
|  | M28 | 22 | 3625,84 |
|  | M29 | 9  | 4282,58 |
|  | M30 | 34 | 3167,18 |
|  | M31 | 25 | 7917,61 |
|  | M32 | 23 | 8212,14 |
|  | M33 | 25 | 4201,49 |
|  | M01 | 18 | 1100,47 |
|  | M02 | 13 | 3105,97 |
| <b>Ingreso a la red de<br/>Distribución<br/>(Agua Potable)</b> | M03 | 20 | 3090,7  |
|  | M04 | 11 | 3472,63 |
|  | M05 | 11 | 2356,76 |

---

---

|     |    |          |
|-----|----|----------|
| M06 | 27 | 8373,63  |
| M07 | 16 | 3031,9   |
| M08 | 19 | 10411,55 |
| M09 | 14 | 6217,99  |
| M10 | 11 | 8557,83  |
| M11 | 16 | 1205,88  |
| M12 | 24 | 2908,9   |
| M13 | 23 | 2327,21  |
| M14 | 14 | 5204,19  |
| M15 | 8  | 5889,4   |
| M16 | 16 | 2647,83  |
| M17 | 17 | 1343,62  |
| M18 | 15 | 1262,56  |
| M19 | 11 | 1470,8   |
| M20 | 10 | 4979,48  |
| M21 | 12 | 7324,56  |
| M22 | 5  | 1098,36  |
| M23 | 30 | 6491,55  |
| M24 | 26 | 2317,22  |
| M25 | 27 | 3266,83  |
| M26 | 25 | 6586,53  |
| M27 | 27 | 4010,31  |
| M28 | 13 | 2657,1   |

---

---

|                         |     |    |         |
|-------------------------|-----|----|---------|
|                         | M29 | 12 | 3208,37 |
|                         | M30 | 31 | 2076,63 |
|                         | M31 | 5  | 1598,36 |
|                         | M32 | 15 | 6276,41 |
|                         | M33 | 5  | 62,47   |
|                         | M01 | 14 | -       |
|                         | M02 | 25 | 2449,08 |
|                         | M03 | 23 | 7037,26 |
|                         | M04 | 18 | 2150,43 |
|                         | M05 | 12 | 3642,64 |
|                         | M06 | 14 | 6255,67 |
|                         | M07 | 17 | 1220,3  |
|                         | M08 | 22 | 3128,57 |
|                         | M09 | 17 | 2421,95 |
| <b>Red Domiciliaria</b> | M10 | 25 | 6935,02 |
|                         | M11 | 4  | 6715,66 |
|                         | M12 | 16 | 5756,35 |
|                         | M13 | 20 | 6579,71 |
|                         | M14 | 27 | 4176,47 |
|                         | M15 | 18 | 1977,63 |
|                         | M16 | 16 | 1455,8  |
|                         | M17 | 10 | 5346,56 |
|                         | M18 | 23 | 2020,6  |

---

---

|                                   |    |                    |
|-----------------------------------|----|--------------------|
| M19                               | 20 | 3609,36            |
| M20                               | 10 | 5244,54            |
| M21                               | 19 | 4230,5             |
| M22                               | 7  | 4946,69            |
| M23                               | 19 | 3763,6             |
| M24                               | 30 | 9043,46            |
| M25                               | 36 | 3826,34            |
| M26                               | 25 | 3210,05            |
| M27                               | 22 | 2388,68            |
| M28                               | 21 | 6175,05            |
| M29                               | 29 | 5353,78            |
| M30                               | 17 | 3844,11            |
| M31                               | 11 | 5307,8             |
| M32                               | 29 | 351,71             |
| M33                               | 21 | 2646,55            |
| <b>Promedio dimensiones TOTAL</b> |    | <b>4181,369388</b> |

---

Fuente: Autores

En la tabla 7 se evidencia el promedio de las dimensiones de las partículas de plástico en cada una de las muestras, cabe mencionar que no se ha encontrado en las bases de datos este parámetro, es por ello que no se ha comparado con otras muestras estandarizadas.

## 4.2. Identificación de Microplásticos

### 4.2.1. Tipo de Microplásticos

Se realizó la identificación del tipo de polímero encontrado en cada uno de los puntos de muestreo, es decir, en la Captación, Ingreso a la red de distribución y Red Domiciliaria mediante FTIR y porcentajes de coincidencia con la librería encontrada en OMINIC y OMINIC Spectra.

**Tabla 8**

*Porcentaje de Polímeros encontrados en los puntos de muestreo.*

| Punto de Muestreo                                      | Tipo de Polímero encontrado |       |        |           |              |       |
|--|-----------------------------|-------|--------|-----------|--------------|-------|
|  | PET                         | PEHD  | PEBD   | Poliéster | Polibutileno | Otros |
| <b>Captación (Agua Cruda)</b>                          | 82,91%                      | 0,64% | 14,54% | 0,64%     | 0,00%        | 1,28% |
| <b>Ingreso a la Red de Distribución (Agua Potable)</b> | 80,44%                      | 2,38% | 14,63% | 0,55%     | 0,00%        | 2,01% |
| <b>Red Domiciliaria</b>                                | 57,77%                      | 7,85% | 6,28%  | 0,47%     | 27,00%       | 0,63% |

Fuente: Autores

En la tabla 8 se observa la incidencia de Polietileno tereftalato PET, Polietileno de alta densidad PEHD, Polietileno de baja densidad PEBD, Poliéster, Polibutileno y otros, al igual que en el estudio realizado por Almainan *et al.* (2021), donde analizo muestras de agua provenientes de agua embotellada al igual que agua potable en 5 regiones de Arabia Saudita, y se determinó la presencia de MP en 17 de las 30 muestras recolectadas, mediante FTIR se identificó la presencia de PET, PE, y PS con mayor incidencia que otros tipos de polímeros.

### 4.3. Evaluación de las etapas del sistema de potabilización de agua Tomebamba

Se comparará la concentración de partículas/250 ml en Captación, Ingreso a la red de distribución y Red domiciliaria.

#### 4.3.1. Estadística descriptiva

**Tabla 9**

*Estadística descriptiva de los puntos de muestreo.*

|                                    | <b>Captación<br/>(Agua Cuda)</b> | <b>Ingreso a la Red de<br/>Distribución<br/>(Agua Potable)</b> | <b>Red Domiciliaria</b> |
|------------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------|
| <b>Media</b>                       | 18,969697                        | 16,5757576   | 19,3030303              |
| <b>Error típico</b>                | 1,05482733                       | 1,27626223   | 1,21736555              |
| <b>Mediana</b>                     | 20                               | 15   | 19                      |
| <b>Moda</b>                        | 21                               | 11   | 25                      |
| <b>Desviación estándar</b>         | 6,05952168                       | 7,33156831   | 6,99323266              |
| <b>Varianza de la<br/>muestra</b>  | 36,717803                        | 53,7518939   | 48,905303               |
| <b>Curtosis</b>                    | 0,81881521                       | -0,7541817   | 0,13171388              |
| <b>Coficiente de<br/>asimetría</b> | -0,0119887                       | 0,37122396   | 0,04225131              |
| <b>Rango</b>                       | 29                               | 26   | 32                      |
| <b>Mínimo</b>                      | 5                                | 5  | 4                       |
| <b>Máximo</b>                      | 34                               | 31   | 36                      |
| <b>Suma</b>                        | 626                              | 547  | 637                     |
| <b>Cuenta</b>                      | 33                               | 33   | 33                      |
| <b>Mayor (1)</b>                   | 34                               | 31   | 36                      |
| <b>Menor(1)</b>                    | 5                                | 5  | 4                       |

|   |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|
| <b>Nivel de confianza</b><br><b>(95.0%)</b> | 2,14861296 | 2,59966108 | 2,47969248 |
|---|------------|------------|------------|

*Nota.* El cálculo realizado de la estadística descriptiva fue en el programa Excel 2019, en el apartado “Datos- Estadística Descriptiva”. Fuente: Autores

Como se puede evidenciar en la tabla 7 no existe una diferencia significativa entre las desviaciones estándar existentes en los diferentes puntos de muestreo siendo estas 6,06 para la Captación, 7,33 para el ingreso a la red de distribución y 6,99 para la red domiciliaria, es decir los datos no están dispersos con respecto a la media.

#### **4.3.2. Test de normalidad**

Para realizar la prueba paramétrica es necesario verificar que los datos cumplan con la distribución normal, por lo cual se aplicó Shapiro wilks donde:

El nivel de significancia que se determinó para la prueba Shapiro-Wilks es el siguiente:

- Nivel de Significancia; 0,05

Las hipótesis que se determinaron para la prueba Shapiro-Wilks son las siguientes:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ); La distribución es normal;  $\sim N(\mu, \sigma^2)$
- Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ); La distribución no es normal;  $\not\sim N(\mu, \sigma^2)$

Los valores obtenidos para la prueba de Shapiro-Wilks son mayores al nivel de significancia en este caso 0,05; por lo que se acepta la hipótesis nula para este apartado, es decir los valores cumplen la distribución normal y se debe realizar un test paramétrico para definir la varianza de los mismos.



**Tabla 10**

*Prueba Shapiro Wilks, prueba de normalidad*

| <b>Shapiro Wilks normality test</b>                                |          |                 |
|--|----------|-----------------|
| <b>Puntos de Muestreo</b>  | <b>W</b> | <b>p- value</b> |
| <b>Captación/Ingreso a la Red de Distribución/Red domiciliaria</b> | 0,99067  | 0,830           |
| <b>Nivel de Significancia</b>                                      |          | 0,05            |

*Nota.* El cálculo del test de Shapiro-Wilks fue realizado en el programa Rstudio. Fuente: Autores.

#### **4.3.3. Análisis de Varianza**

Para el análisis de varianza se aplicó el método estadístico ANOVA, el cual tiene como principio comprobar la varianza entre dos o más medias de conjuntos de datos mediante hipótesis

El nivel de significancia que se determinó en esta investigación es el siguiente:

- Nivel de Significancia; 0,05

Las hipótesis que se determinaron en esta investigación son las siguientes:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ); Todas más medias son iguales
- Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ); Al menos una de las medias es diferente

Una vez realizado los cálculos de la tabla ANOVA se puede definir que el valor de p (Probabilidad) es: 0.2128917, es mayor que 0.05 el valor de significancia, por lo tanto:  $0.2128917 > 0.05$  que a su vez  $p > 0.05$ , se define como:

Aceptar la hipótesis Nula y se rechaza la Hipótesis alternativa, por ende, es innecesario la realización de la prueba Tukey de análisis de comparaciones múltiples.

**Tabla 11.**

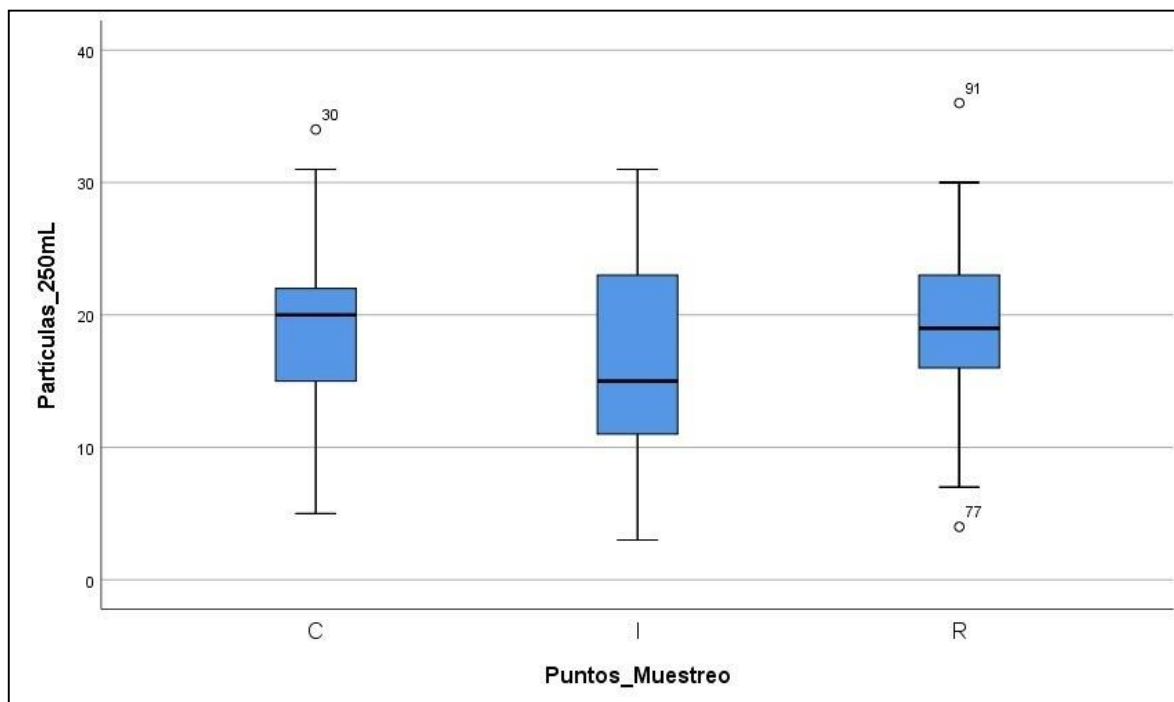
*Análisis de varianza ANOVA de los datos obtenidos en la investigación.*

| <i>Origen de las variaciones</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i>  | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico para F</i> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------|---------------------|-----------------------------|
| <b>Entre grupos</b>              | 146,08081                | 2                         | 73,040404                        | 1,5721701 | 0,2128917           | 3,0911913                   |
| <b>Dentro de los grupos</b>      | 4460                     | 96                        | 46,458333                        |           |                     |                             |
| <b>Total</b>                     | 4606,0808                | 98                        |                                  |           |                     |                             |

*Nota.* El cálculo realizado del análisis de varianza ANOVA fue en el programa Excel 2019, en el apartado “Datos-Análisis de datos”. Fuente: Autores.

**Figura 3**

*Diagramas de Cajas y Bigotes*



*Nota.* El diagrama de cajas y bigotes corresponde a Captación (C), Ingreso a la red de distribución (I) y Red domiciliaria (R). Fuente: Autores

Se puede determinar que en los 3 puntos de muestreo de agua no existe una diferencia significativa, por lo cual se asume que la misma concentración de microplásticos en el agua permanece durante la captación, ingreso a la red de distribución y red domiciliaria, como la presencia de microplásticos se evidencia desde la fuente, se asume que la razón es por visitas turísticas, y actividad antropogénica en la zona, además se observa que se mantiene durante los otros dos procesos, cabe mencionar que el tipo de polímero varía en cada proceso, es por ello que se encuentra polibutileno, el mismo que forma parte en la fabricación de tuberías.

## CAPITULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

En este estudio se logró determinar la presencia de partículas microscópicas de plástico en el sistema Tomebamba, que comprende la planta de Potabilización “El Cebollar” y el abastecimiento de domicilios de esta, en tres procesos distintos los cuales fueron: Captación (agua cruda), Ingreso a la Red de Distribución (agua potable) y en la Red domiciliaria, se obtuvo el 100% de muestras con microplásticos observables de mayor incidencia fibras y fragmentos

Además, se pudo determinar que en el año 2022 se define un promedio final de 18,28 partículas por 250 ml, teniendo así un rango general tanto para las fibras de 6,31 – 4966,77  $\mu\text{m}$  y para los fragmentos de 6,95 – 243,87  $\mu\text{m}$ .

Es importante mencionar que se pudo identificar los tipos de polímeros encontrados en cada punto de muestreo, teniendo así que para la Captación e Ingreso a la Red de Distribución, se encontró coincidencia con PET PEHD, PEBD, y poliéster lo que se interpreta que desde la fuente existe degradación de plásticos generando partículas microscópicas que se mantienen a lo largo del proceso de potabilización, teniendo en cuenta que los polímeros mencionados con anterioridad son los más utilizados por la sociedad tanto para recipientes de alimentos como para prendas de vestir.

Sin embargo, en las Redes Domiciliarias se encontró una coincidencia de las mismas que se mencionan con anterioridad además de polibutileno, lo que se interpreta como el material que pertenece a la fabricación de varias tuberías domiciliarias, que por el uso a lo

largo del tiempo y la fricción existente con el agua se va desprendiendo y generando micropartículas.

En evaluación de los puntos de muestreo, se evidencia que la presencia de microplásticos es muy similar entre los procesos, teniendo así una desviación estándar muy parecida, por lo que se concluye que las micropartículas de plástico son generadas desde las fuentes hídricas mediante degradación e incrementadas en el sistema de abastecimiento de agua potable en la ciudad de Cuenca, hasta que llega al consumidor.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en este estudio se concluye que se pudo detectar micropartículas de plástico por medio de las técnicas de Microscopía invertida de Fluorescencia y Espectroscopía Infrarroja, además de identificar que no existe significancia en las diferentes etapas del sistema de potabilización de agua Tomebamba de la ciudad de Cuenca, Ecuador con respecto a la concentración de microplásticos.

Finalmente, en base a la información que se presenta con anterioridad, completamente se logró responder a la pregunta de investigación y también aceptar la hipótesis de investigación, ya que mediante las técnicas de Microscopía Invertida y FTIR se pudo comprobar la presencia y caracterización de partículas microscópicas de plástico que alteran el recurso hídrico de un área urbana de Cuenca en el año 2022.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda evaluar la acción del azul de metileno con respecto a la tinción fluorescente de microplásticos, ya que en este estudio se utilizó solamente Rojo de Nilo.

- Para verificar la presencia de microplásticos que se observa en el microscopio de fluorescencia, se recomienda observar en campo claro e identificar el color característico de los plásticos.
- Realizar una investigación con mayor profundidad sobre el origen de las partículas microscópicas de plástico en el agua de Cuenca, ya que así se podrá tener un panorama más visible sobre el impacto que presenta el plástico en fuentes hídricas.
- Generar una línea base para considerar a las partículas por litro de agua como un parámetro extra para verificar la calidad del agua potable y recomendar realizar un tratamiento extra en la Potabilización del agua que tenga relación directa con la disminución de partículas microscópicas plásticas.

## REFERENCIAS

Aguirre, F. (2015). *Abastecimiento de Agua para comunidades rurales*. Machala: Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6873>

Arévalo, J. (2016). *Análisis de la variación de la temperatura de degradación, índice de fluidez y el torque máximo del polietileno de alta densidad en mezclas de material puro con pigmentos y material reciclado*. [Tesis de grado - Universidad Politécnica Salesiana].

Awasthi, A., Shivashankar, M. y Majumder, S. (2017). Plastic solid waste utilization technologies: A Review. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineer. 263, 1-14. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/2/022024>

Bilbao, A. (2015). *Desengancharse del plástico Problemas de un material ubicuo ecologistas en acción*. <http://www.ecologistasenaccion.org>

Bollaín, C., Bollaín Pastor, C. y Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Rev Esp Salud Pública*, 93, 28–29. [www.msc.es/resp](http://www.msc.es/resp)

Canchari, F. y Iannacone, J. (2022). Microplásticos en sedimentos de canales de riego en el centro poblado de Madeán, Distrito de Madeán, provincia de Yauyos, región Lima, Perú. *The Biologist*, 20(1), 85–92. <https://doi.org/10.24039/rtb20222011318>

Chávez, B. (2019). *Presencia de microplástico derivado de la degradación de tanques de reserva plásticos en el agua potable de Riobamba* [Tesis de grado - Universidad Nacional de Chimborazo].

Choy, C., Robison, B., Gagne, T., Erwin, B., Firl, E., Halden, R., Hamilton, J., Katija, K., Lisin, S., Rolsky, C. y Houtan, K. (2019). The vertical distribution and biological transport of marine microplastics across the epipelagic and mesopelagic water column. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44117-2>

Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de agua potable, alcanterillado y saneamiento* (ISBN). [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández, S., Palma, A., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M. y Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(28), 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>

Daud, M., Nafees, M., Ali, S., Rizwan, M., Bajwa, R., Shakoor, M., Arshad, M., Chatha, S., Deeba, F., Murad, W., Malook, I. y Zhu, S. (2017). Drinking Water Quality Status and Contamination in Pakistan. In *BioMed Research International*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7908183>

Dehaut, A., Cassone, A., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Rivière, G., Lambert, C., Soudant, P., Huvet, A., Duflos, G. y Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>

Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B. y Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific Reports*, 7, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep46687>



Doctorovich, F. y Aldabe, S. (2020). PLÁSTICOS Y FIBRAS. *EXPLORA Las Ciencias En El Mundo Contemporáneo*, 1–16. <https://n9.cl/289wh>

Donoso, J. (2018). *Cuantificación de la presencia de microplásticos en la cuenca alta del río Guayllabamba* [Tesis de grado - Universidad de las Américas].

Edson, E. y Patterson, M. (2016). MantaRay: A novel autonomous sampling instrument for in situ measurements of environmental microplastic particle concentrations. *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*. <https://doi.org/10.23919/oceans.2015.7404541>

Espinosa, C., Esteban, M. y Cuesta, A. (2016). Microplastics in Aquatic Environments and Their Toxicological Implications for Fish. In *Toxicology - New Aspects to This Scientific Conundrum*, 113–145. <https://doi.org/10.5772/64815>

Flores, J. y Orozco, K. (2022). *Evaluación de la presencia de microplásticos en agua embotellada en la regional 6* [Tesis de grado - Universidad Politécnica Salesiana]. <https://n9.cl/uxych>

Geyer, R., Jambeck, J. y Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 3 (7), 1-5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Hartmann, N., Hüffer, T., Thompson, R., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M., Hess, M., Ivleva, N., Lusher, A. y Wagner, M. (2019). Response to the Letter to the Editor Regarding Our Feature “are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris.” *Environmental Science and Technology*, 53, 4678–4679. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02238>

Issac, M. y Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19544–19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>/Published

Katsumi, N., Kusube, T., Nagao, S. y Okochi, H. (2020). The role of coated fertilizer used in paddy fields as a source of microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111727>

Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich, R., Brambini, R. y Reisser, J. (2018). Evidence that the great pacific garbage patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*. 8, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

Lin, L., Zuo, L., Peng, J., Cai, L., Fok, L., Yan, Y., Li, H. y Xu, X. (2018). Occurrence and distribution of microplastics in an urban river: A case study in the Pearl River along Guangzhou City, China. *Science of the Total Environment*, 644, 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.327>

Loganathan, Y. y Kizhakedathil, M. (2023a). A Review on Microplastics - An Indelible Ubiquitous Pollutant. In *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13 (2). <https://doi.org/10.33263/BRIAC132.126>

Lusher, A., Welden, N., Sobral, P. y Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods*, 9 (9), 1346–1360. <https://doi.org/10.1039/c6ay02415g>

Mason, S., Welch, V. y Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>

Matjašič, T., Simčič, T., Medvešček, N., Bajt, O., Dreo, T. y Mori, N. (2021). Critical evaluation of biodegradation studies on synthetic plastics through a systematic literature review. *Science of the Total Environment*, 752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141959>

Mattsson, K., Hansson, L. y Cedervall, T. (2015). Nano-plastics in the aquatic environment. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 17 (10), 1712–1721. <https://doi.org/10.1039/c5em00227c>

Michelaraki, M., Joseph, O., Karnik, S., Devalla, S., Madanan, K. y Prabhu, R. (2020). Potential for Nile red dye-based analysis of microplastics from oceanic samples. *Global Ocean*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF38699.2020.9389207>

Miller, M., Kroon, F. J. y Motti, C. (2017). Recovering microplastics from marine samples: A review of current practices. *Marine Pollution Bulletin* 123 (1–2), 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.058>

Monzó, M. (2015). *Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico, en la modificación superficial del polipropileno*. [Tesis doctoral - Universidad Politécnica de Valencia]. <https://n9.cl/z5dc7>

Nurhasanah, Cordova, M. y Riani, E. (2021). Micro- and mesoplastics release from the Indonesian municipal solid waste landfill leachate to the aquatic environment: Case study in Galuga Landfill Area, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111986>

Ocles,E. (2017). Las industrias del sector poliestireno en el marco del código orgánico de la producción. (Tesis maestría). Universidad Andina Simón Bolívar.

Organización de las Naciones Unidas (2018). Plásticos de un solo uso: Una hoja de ruta para la sostenibilidad. *United Nations Environment Programme*, 1-74.

Organización Mundial de la Salud. (2019). *La OMS anima a investigar sobre los microplásticos y a reducir drásticamente la contaminación por plásticos*. Organización Mundial de la Salud. <https://n9.cl/p2x0f>.

Ortega, P. (2020). *Detección de microplásticos en el agua de mar con espectroscopía Raman*. [Tesis de pregrado - Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/21071>

Pfeiffer, F. y Fischer, E. (2020). Various digestion protocols within microplastics sample processing-evaluating the resistance of different synthetic polymers and the efficiency of biogenic organic matter destruction. *Frontiers in Environmental Science*. 8, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.572424>

Pratesi, C., Santos, M., Cutrim, G., Ramos, M., Gandolfi, L., Pratesi, R., Hecht, M. y Puppini, R. (2021). Presence and Quantification of Microplastic in Urban Tap Water: A Pre-Screening in Brasilia, Brazil. *Sustainability*. 13 (11), 2-10. <https://doi.org/10.3390/su13116404>

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M. y Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>

Rajhans, A., Gore, P. M., Siddique, S. y Kandasubramanian, B. (2019). Ion-imprinted nanofibers of PVDF/1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate for dynamic recovery of europium (III) ions from mimicked effluent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103068>. Rojo, E. y Montoto, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. ISBN. <https://n9.cl/s9or5>.

Ryan, J., Gerhold, A., Boudreau, V., Smith, L. y Maddox, P. (2017). Introduction to Modern Methods in Light Microscopy. *Methods in Molecular Biology*, 1563, 1-15. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6810-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6810-7_1).

Sánchez, E. (2015). Estudio de factibilidad de una empresa de elaboración de pellets a partir de plástico reciclado. [Tesis de grado - Universidad Politécnica Salesiana]. <https://n9.cl/rf3mv>

Selvam, S., Manisha, A., Venkatramanan, S., Chung, S., Paramasivam, C. y Singaraja, C. (2020). Microplastic presence in commercial marine sea salts: A baseline study along Tuticorin Coastal salt pan stations, Gulf of Mannar, South India. *Marine Pollution Bulletin*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110675>

Sezgin, E. (2017). Super-resolution optical microscopy for studying membrane structure and dynamics. *Journal of Physics Condensed Matter*. 29 (27). <https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa7185>

Shen, M., Zeng, Z., Wen, X., Ren, X., Zeng, G., Zhang, Y. y Xiao, R. (2021). Presence of microplastics in drinking water from freshwater sources: the investigation in

Changsha, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 28 (31), 42313–42324.

<https://doi.org/10.1007/s11356-021-13769-x>

Shen, M., Zhang, Y., Zhu, Y., Song, B., Zeng, G., Hu, D., Wen, X. y Ren, X. (2019). Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: A review. *Environmental Pollution*. 252, 511-521. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.102>

Smith, M., Love, D., Rochman, C. y Neff, R. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current environmental health reports*. 5 (3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>

Suasnavas, D. (2017). *Degradación de materiales plásticos “PET” (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión* [Tesis de grado - Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://n9.cl/wzpsf>

Toledo, M. (2019). *Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano)plásticos en el medioambiente y en la biota marina*. [Tesis de pregrado - Pontificia Universidad Nacional de Educación a Distancia]. <https://tinyurl.com/29uaxkad>

Tong, H., Jiang, Q., Hu, X. y Zhong, X. (2020). Occurrence and identification of microplastics in tap water from China. *Chemosphere*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126493>

Udayakumar, V., Gore, P. M. y Kandasubramanian, B. (2021). Foamed materials for oil-water separation. *Chemical Engineering Journal Advances*. 5, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.100076>

Vallejo, J., Almonacid, L., Agudelo, R., Hernández, J. y Ortiz, O. (2019). Evaluación de la hidrólisis alcalina-enzimática para la obtención de colágeno hidrolizado a partir de

virutas de cuero curtido. *Revista Ion.* 32 (1), 55-62. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n1-2019005>

Wang, D., Liu, Y., Wang, Y., Artiles, C., Hull, T. y Price, D. (2007). Fire retardancy of a reactively extruded intumescent flame retardant polyethylene system enhanced by metal chelates. *Polymer Degradation and Stability*, 92(8), 1592–1598. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.04.015>

Xanthos, D. y Walker, T. (2017). International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Marine Pollution Bulletin*, 118 (1–2), 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>

Xue, B., Zhang, L., Li, R., Wang, Y., Guo, J., Yu, K. y Wang, S. (2020). Underestimated Microplastic Pollution Derived from Fishery Activities and “Hidden” in Deep Sediment. *Environmental Science and Technology*, 54(4), 2210–2217. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04850>

Yu, W., Huang, J. y Tan, C. (2019). Purification of polybutylene terephthalate by oligomer removal using a compressed CO<sub>2</sub> antisolvent. *Polymers*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/polym11071230>

## ANEXOS

### ANEXO A: Envases utilizados para la recolección de muestras



Botellas ámbar de vidrio con  
tapa de corhco



Botellas ámbar de vidrio con  
tapa de corhco



**ANEXO B: Muestreo**



Captación (Agua Cruda)

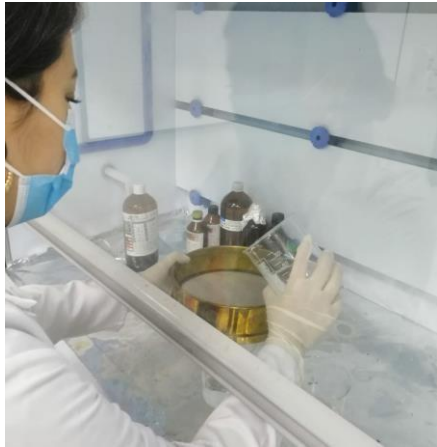


Ingreso a la red de distribución  
(agua potable)



Red domiciliaria

## ANEXO C: Extracción de Microplásticos en el Laboratorio



Filtración por tamiz de 90  $\mu\text{m}$



Digestión con Peróxido de hidrógeno al 30%



Microfiltración



Secado de Filtros de Nitrocelulosa a temperatura ambiente



Aplicación de Rojo de Nilo en la estufa a 60 °C por 1h

#### **ANEXO D:** Evaluación de Microplásticos

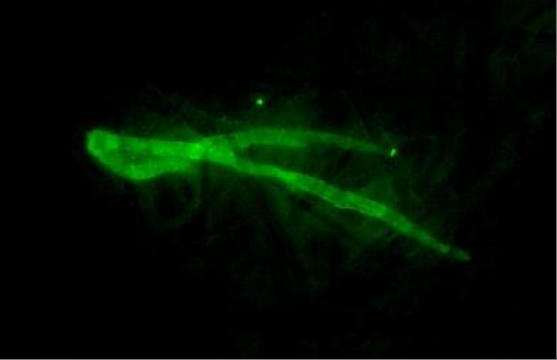
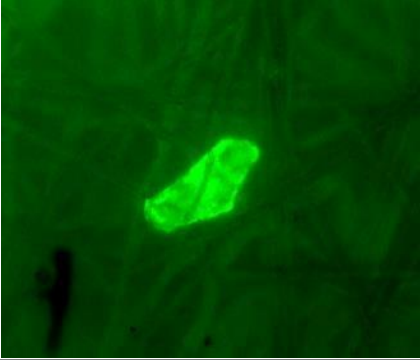
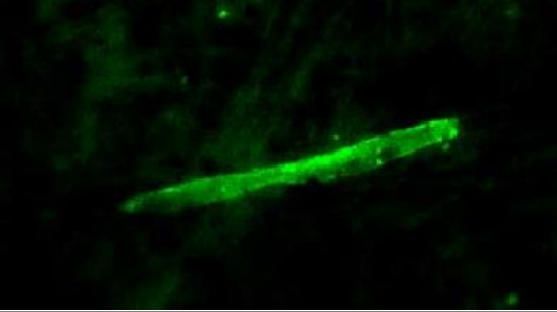
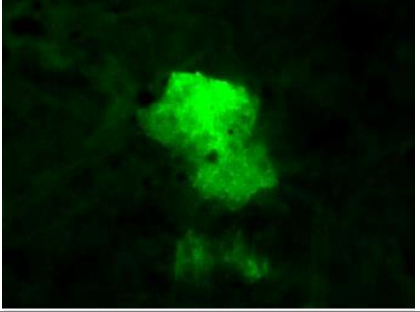

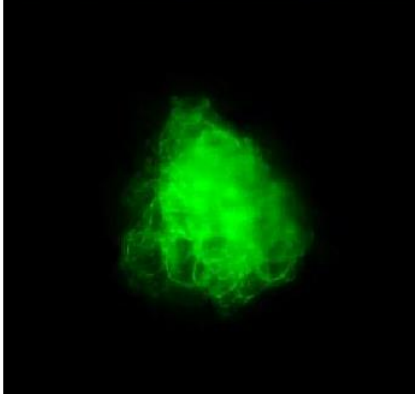
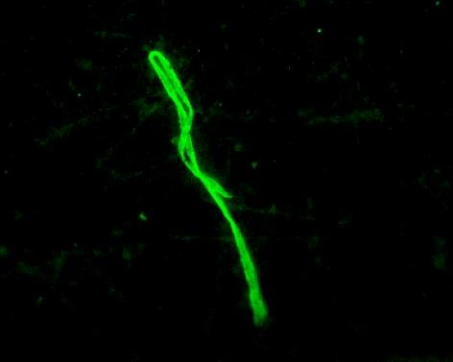
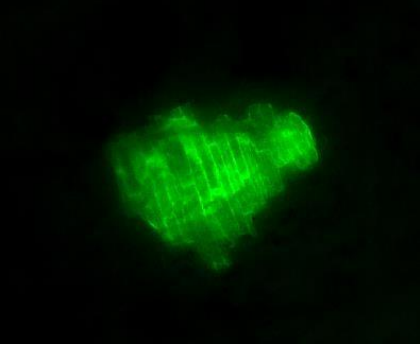


Observación de microplásticos en el microscopio invertido de fluorescencia

## ANEXO E: Identificación de Microplásticos



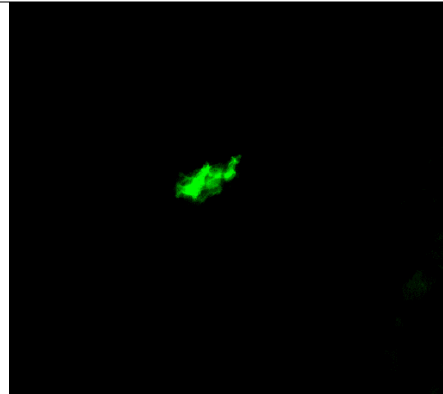
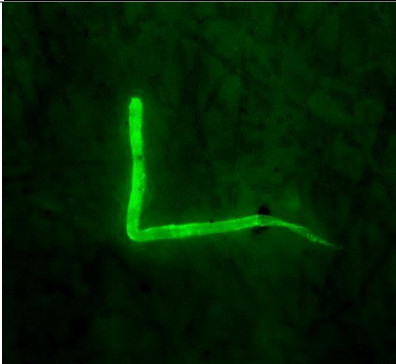
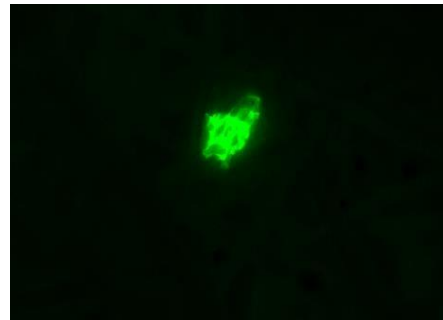
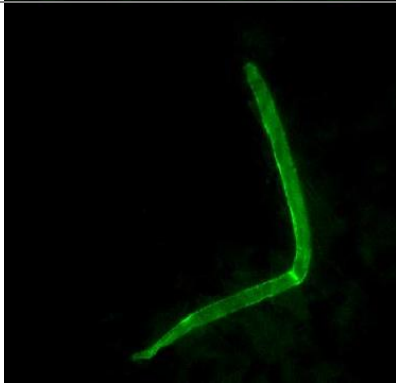
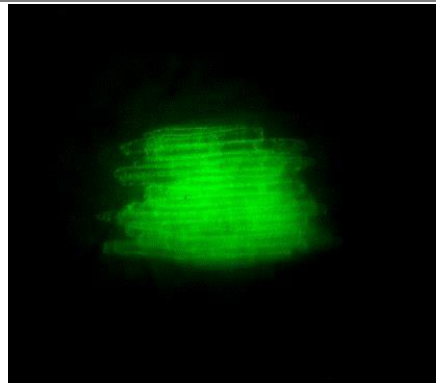
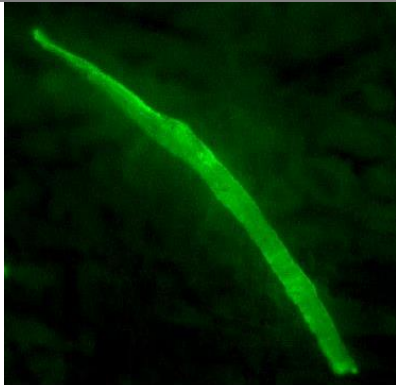
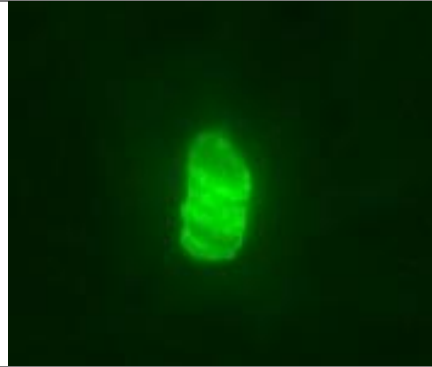
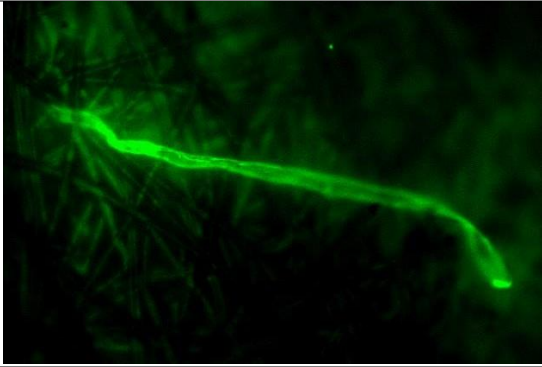
**ANEXO F:** Observación de micropartículas plásticas en el microscopio invertido de fluorescencia con el lente 10x

| Fibra   | Fragmento  |
|---|--|
| <b>Captación (Agua Cruda )</b>  |  |
|    |    |
|   |   |
|  |  |
|  |  |

---

Ingreso a la red de distribución

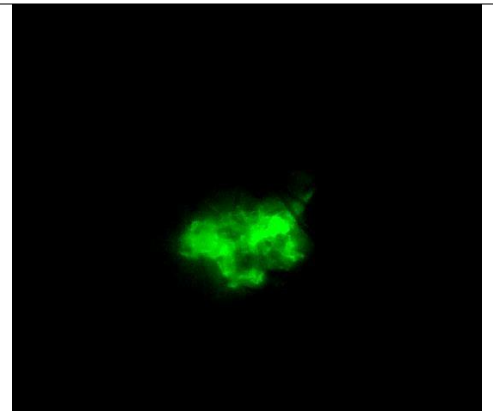
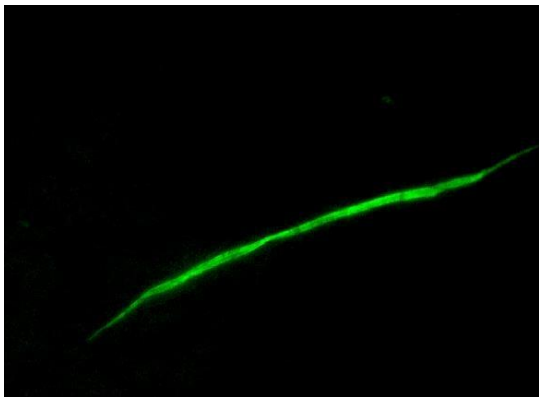
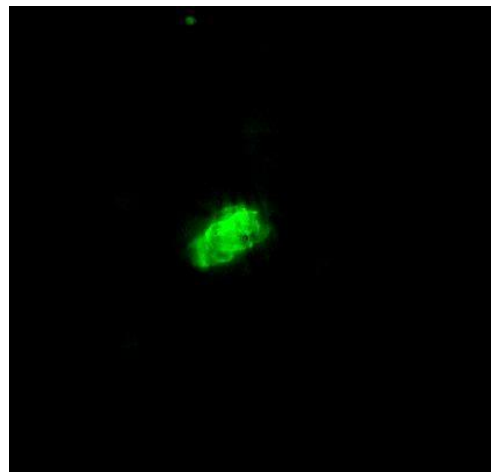
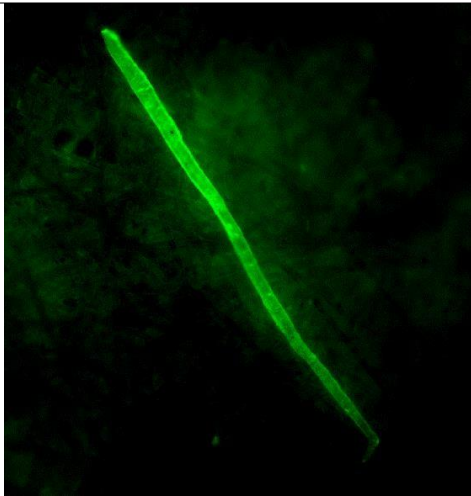
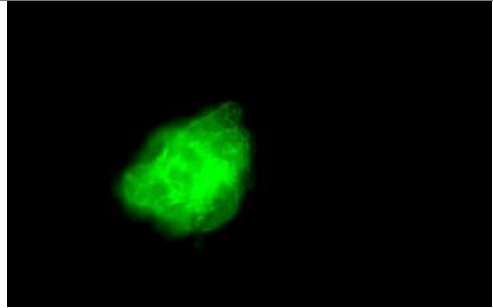
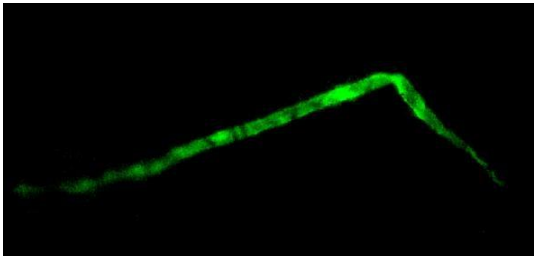
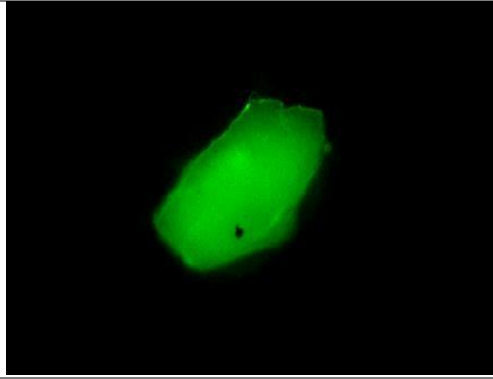
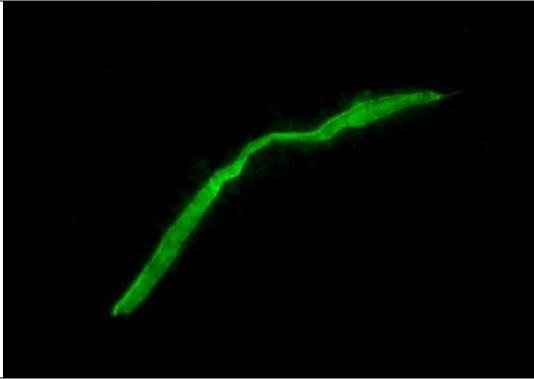
---



---

Red Domiciliaria

---



**ANEXO G: Partículas encontradas en el Sistema de Potabilización Tomebamba**

**Tabla 12**

*Total de partículas encontradas en la captación*

| <b>MUESTRAS DEL PUNTO DE MUESTREO DE CAPTACIÓN DEL SISTEMA TOMBAMBA</b> |               |          |          |          |                        |                   |          |          |          |                            |   |
|---|---------------|----------|----------|----------|------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------------------------|---|
| <b>MUESTRAS</b>   | <b>Fibras</b> |          |          |          | <b>Total de fibras</b> | <b>Fragmentos</b> |          |          |          | <b>Total de fragmentos</b> | <b>Cantidad total de partículas/250ml</b> |
|   | <b>1</b>      | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |                        | <b>1</b>          | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |                            |   |
| <b>C-M1</b>   | 1             | 3        | 0        | 0        | 4                      | 0                 | 1        | 0        | 0        | 1                          | <b>5</b>                                  |
| <b>C-M2</b>   | 4             | 2        | 5        | 1        | 12                     | 1                 | 2        | 2        | 4        | 9                          | <b>21</b>                                 |
| <b>C-M3</b>   | 4             | 7        | 4        | 4        | 19                     | 1                 | 0        | 2        | 0        | 3                          | <b>22</b>                                 |
| <b>C-M4</b>   | 3             | 3        | 4        | 0        | 10                     | 1                 | 1        | 0        | 1        | 3                          | <b>13</b>                                 |
| <b>C-M5</b>   | 3             | 7        | 4        | 5        | 19                     | 0                 | 0        | 2        | 0        | 2                          | <b>21</b>                                 |
| <b>C-M6</b>   | 2             | 2        | 5        | 2        | 11                     | 2                 | 2        | 3        | 1        | 8                          | <b>19</b>                                 |
| <b>C-M7</b>   | 5             | 13       | 7        | 3        | 28                     | 1                 | 0        | 1        | 1        | 3                          | <b>31</b>                                 |
| <b>C-M8</b>   | 3             | 6        | 2        | 0        | 11                     | 1                 | 4        | 3        | 1        | 9                          | <b>20</b>                                 |
| <b>C-M9</b>   | 2             | 2        | 1        | 5        | 10                     | 5                 | 3        | 1        | 2        | 11                         | <b>21</b>                                 |
| <b>C-M10</b>  | 2             | 2        | 1        | 1        | 6                      | 4                 | 1        | 1        | 3        | 9                          | <b>15</b>                                 |
| <b>C-M11</b>  | 2             | 4        | 3        | 3        | 12                     | 2                 | 1        | 1        | 1        | 5                          | <b>17</b>                                 |
| <b>C-M12</b>  | 2             | 2        | 2        | 1        | 7                      | 2                 | 1        | 2        | 2        | 7                          | <b>14</b>                                 |
| <b>C-M13</b>  | 4             | 3        | 1        | 5        | 13                     | 1                 | 3        | 1        | 3        | 8                          | <b>21</b>                                 |
| <b>C-M14</b>  | 3             | 4        | 3        | 2        | 12                     | 3                 | 2        | 0        | 2        | 7                          | <b>19</b>                                 |
| <b>C-M15</b>  | 2             | 1        | 0        | 2        | 5                      | 1                 | 0        | 2        | 0        | 3                          | <b>8</b>                                  |
| <b>C-M16</b>  | 4             | 1        | 1        | 3        | 9                      | 3                 | 1        | 1        | 5        | 10                         | <b>19</b>                                 |
| <b>C-M17</b>  | 3             | 2        | 3        | 1        | 9                      | 1                 | 1        | 2        | 1        | 5                          | <b>14</b>                                 |
| <b>C-M18</b>  | 1             | 4        | 4        | 0        | 9                      | 0                 | 1        | 1        | 0        | 2                          | <b>11</b>                                 |



|              |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |           |
|--------------|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|-----------|
| <b>C-M19</b> | 1 | 4 | 3 | 2 | 10 | 4 | 2 | 2 | 1 | 9  | <b>19</b> |
| <b>C-M20</b> | 2 | 3 | 2 | 1 | 8  | 3 | 2 | 0 | 2 | 7  | <b>15</b> |
| <b>C-M21</b> | 1 | 2 | 5 | 3 | 11 | 1 | 2 | 1 | 0 | 4  | <b>15</b> |
| <b>C-M22</b> | 3 | 4 | 1 | 1 | 9  | 5 | 1 | 3 | 1 | 10 | <b>19</b> |
| <b>C-M23</b> | 4 | 1 | 2 | 6 | 13 | 2 | 4 | 1 | 0 | 7  | <b>20</b> |
| <b>C-M24</b> | 2 | 0 | 4 | 2 | 8  | 2 | 5 | 5 | 1 | 13 | <b>21</b> |
| <b>C-M25</b> | 2 | 1 | 3 | 0 | 6  | 2 | 4 | 7 | 1 | 14 | <b>20</b> |
| <b>C-M26</b> | 4 | 3 | 1 | 5 | 13 | 8 | 3 | 0 | 2 | 13 | <b>26</b> |
| <b>C-M27</b> | 4 | 2 | 0 | 3 | 9  | 9 | 1 | 1 | 2 | 13 | <b>22</b> |
| <b>C-M28</b> | 2 | 1 | 5 | 2 | 10 | 4 | 2 | 0 | 6 | 12 | <b>22</b> |
| <b>C-M29</b> | 1 | 0 | 2 | 2 | 5  | 1 | 1 | 2 | 0 | 4  | <b>9</b>  |
| <b>C-M30</b> | 3 | 9 | 2 | 2 | 16 | 7 | 3 | 4 | 4 | 18 | <b>34</b> |
| <b>C-M31</b> | 1 | 3 | 6 | 0 | 10 | 3 | 2 | 4 | 6 | 15 | <b>25</b> |
| <b>C-M32</b> | 2 | 1 | 1 | 2 | 6  | 6 | 4 | 4 | 3 | 17 | <b>23</b> |
| <b>C-M33</b> | 3 | 0 | 3 | 1 | 7  | 8 | 2 | 5 | 3 | 18 | <b>25</b> |

Fuente: Autores

**Tabla 13**

*Partículas encontradas en el ingreso a la red de distribución*

| <b>MUESTRAS DEL PUNTO DE MUESTREO DEL INGRESO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA<br/>TOMEBAMBA</b> |                   |   |   |   |                            |                   |   |   |   |   |           |
|--|-------------------|---|---|---|----------------------------|-------------------|---|---|---|---|-----------|
| <b>MUESTRAS</b>  | <b>Fibras</b>     |   |   |   | <b>Total de<br/>fibras</b> | <b>Fragmentos</b> |   |   |   | <b>Cantidad total<br/>de<br/>partículas/250ml</b> |           |
|  | <b>Cuadrantes</b> |   |   |   |                            | <b>Cuadrantes</b> |   |   |   |   |           |
|  | 1                 | 2 | 3 | 4 |                            | 1                 | 2 | 3 | 4 | <b>Total de<br/>fragmentos</b>                    |           |
| <b>I-M1</b>  | 3                 | 4 | 1 | 4 | 12                         | 2                 | 0 | 3 | 1 | 6   | <b>18</b> |
| <b>I-M2</b>  | 4                 | 1 | 5 | 2 | 12                         | 0                 | 0 | 1 | 0 | 1   | <b>13</b> |
| <b>I-M3</b>  | 3                 | 6 | 4 | 5 | 18                         | 1                 | 1 | 0 | 0 | 2   | <b>20</b> |
| <b>I-M4</b>  | 2                 | 1 | 0 | 2 | 5                          | 2                 | 1 | 1 | 2 | 6   | <b>11</b> |
| <b>I-M5</b>  | 1                 | 0 | 1 | 1 | 3                          | 1                 | 3 | 2 | 1 | 8   | <b>11</b> |
| <b>I-M6</b>  | 4                 | 2 | 5 | 1 | 12                         | 4                 | 4 | 4 | 3 | 15  | <b>27</b> |
| <b>I-M7</b>  | 1                 | 3 | 3 | 6 | 13                         | 1                 | 1 | 0 | 1 | 3   | <b>16</b> |
| <b>I-M8</b>  | 2                 | 2 | 4 | 5 | 13                         | 2                 | 0 | 3 | 1 | 6   | <b>19</b> |
| <b>I-M9</b>  | 2                 | 3 | 2 | 4 | 11                         | 1                 | 0 | 2 | 0 | 3   | <b>14</b> |
| <b>I-M10</b>   | 4                 | 2 | 1 | 3 | 10                         | 0                 | 1 | 0 | 0 | 1   | <b>11</b> |
| <b>I-M11</b>   | 3                 | 2 | 4 | 4 | 13                         | 1                 | 1 | 0 | 1 | 3   | <b>16</b> |
| <b>I-M12</b>   | 5                 | 4 | 3 | 2 | 14                         | 1                 | 4 | 2 | 3 | 10  | <b>24</b> |
| <b>I-M13</b>   | 4                 | 2 | 6 | 2 | 14                         | 3                 | 2 | 3 | 1 | 9   | <b>23</b> |
| <b>I-M14</b>   | 2                 | 1 | 3 | 2 | 8                          | 2                 | 2 | 0 | 2 | 6   | <b>14</b> |
| <b>I-M15</b>   | 0                 | 1 | 1 | 0 | 2                          | 2                 | 3 | 1 | 0 | 6   | <b>8</b>  |
| <b>I-M16</b>   | 3                 | 2 | 4 | 1 | 10                         | 1                 | 2 | 1 | 2 | 6   | <b>16</b> |
| <b>I-M17</b>   | 2                 | 6 | 3 | 2 | 12                         | 3                 | 0 | 2 | 1 | 5   | <b>17</b> |
| <b>I-M18</b>   | 4                 | 0 | 2 | 3 | 9                          | 1                 | 2 | 1 | 2 | 6   | <b>15</b> |
| <b>I-M19</b>   | 1                 | 3 | 1 | 2 | 7                          | 1                 | 1 | 1 | 1 | 4   | <b>11</b> |
| <b>I-M20</b>   | 2                 | 3 | 0 | 1 | 6                          | 1                 | 2 | 0 | 1 | 4   | <b>10</b> |

|              |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |           |
|--------------|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|-----------|
| <b>I-M21</b> | 5 | 2 | 3 | 1 | 11 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1  | <b>12</b> |
| <b>I-M22</b> | 0 | 1 | 0 | 2 | 3  | 0 | 0 | 1 | 1 | 2  | <b>5</b>  |
| <b>I-M23</b> | 3 | 3 | 4 | 1 | 11 | 5 | 4 | 7 | 3 | 19 | <b>30</b> |
| <b>I-M24</b> | 2 | 6 | 3 | 3 | 14 | 2 | 3 | 3 | 4 | 12 | <b>26</b> |
| <b>I-M25</b> | 4 | 2 | 1 | 3 | 10 | 5 | 4 | 3 | 5 | 17 | <b>27</b> |
| <b>I-M26</b> | 3 | 7 | 2 | 4 | 16 | 3 | 1 | 2 | 3 | 9  | <b>25</b> |
| <b>I-M27</b> | 3 | 2 | 4 | 1 | 10 | 6 | 3 | 4 | 4 | 17 | <b>27</b> |
| <b>I-M28</b> | 0 | 3 | 2 | 2 | 7  | 2 | 1 | 3 | 0 | 6  | <b>13</b> |
| <b>I-M29</b> | 4 | 0 | 2 | 3 | 9  | 0 | 0 | 2 | 1 | 3  | <b>12</b> |
| <b>I-M30</b> | 5 | 3 | 4 | 5 | 17 | 4 | 3 | 3 | 4 | 14 | <b>31</b> |
| <b>I-M31</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 2 | 1 | 1 | 1 | 5  | <b>5</b>  |
| <b>I-M32</b> | 1 | 3 | 2 | 1 | 6  | 3 | 2 | 1 | 3 | 9  | <b>15</b> |
| <b>I-M33</b> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 2 | 2 | 0 | 1 | 5  | <b>5</b>  |

Fuente: Autores

**Tabla 14**

*Partículas encontradas en la red domiciliaria*

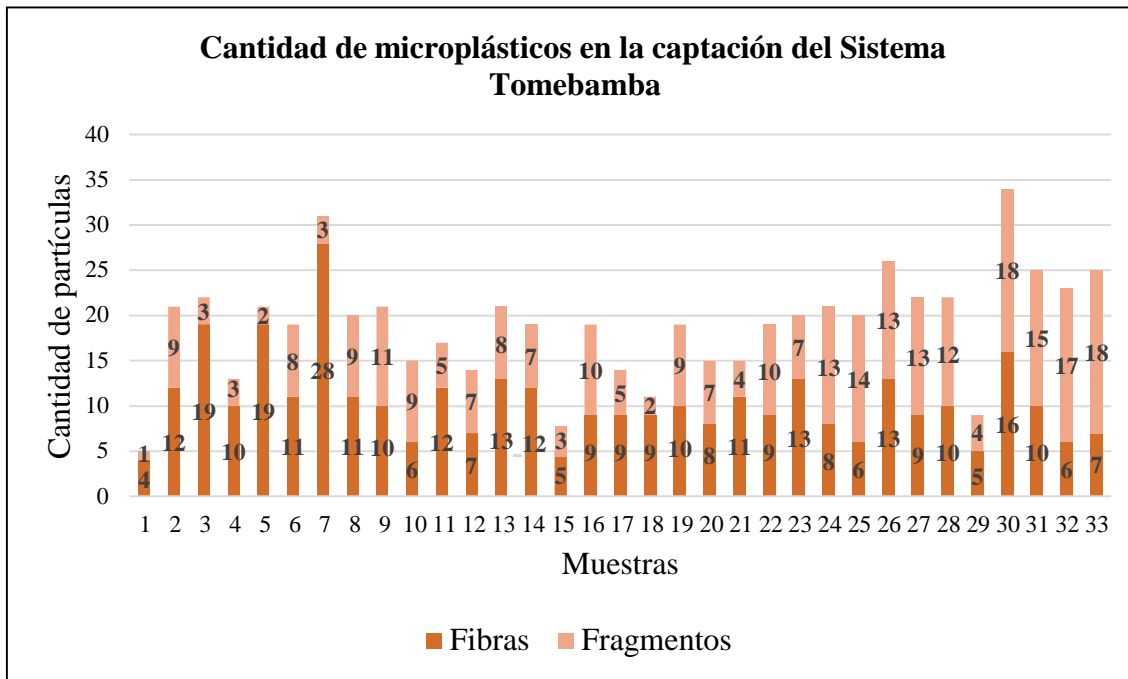
| <b>MUESTRAS DEL PUNTO DE MUESTREO DE RED DOMICILIARIA DEL SISTEMA TOMBAMBA</b> |               |                   |   |   |    |                        |   |                   |   |    |   |
|--|---------------|-------------------|---|---|----|------------------------|---|-------------------|---|----|---|
| <b>MUESTRAS</b>  | <b>Fibras</b> |                   |   |   |    | <b>Fragmentos</b>      |   |                   |   |    | <b>Cantidad total de partículas/250ml</b> |
|  |               | <b>Cuadrantes</b> |   |   |    | <b>Total de fibras</b> |   | <b>Cuadrantes</b> |   |    |   |
|  | 1             | 2                 | 3 | 4 |    |                        | 1 | 2                 | 3 | 4  |   |
| <b>R-M1</b>  | 3             | 3                 | 4 | 4 | 14 | 0                      | 0 | 0                 | 0 | 0  | <b>14</b>                                 |
| <b>R-M2</b>  | 5             | 4                 | 4 | 6 | 19 | 0                      | 2 | 2                 | 2 | 6  | <b>25</b>                                 |
| <b>R-M3</b>  | 3             | 5                 | 5 | 6 | 19 | 1                      | 1 | 0                 | 2 | 4  | <b>23</b>                                 |
| <b>R-M4</b>  | 4             | 3                 | 5 | 2 | 14 | 1                      | 2 | 1                 | 1 | 4  | <b>18</b>                                 |
| <b>R-M5</b>  | 0             | 3                 | 2 | 1 | 6  | 1                      | 3 | 0                 | 2 | 6  | <b>12</b>                                 |
| <b>R-M6</b>  | 2             | 0                 | 3 | 2 | 7  | 2                      | 0 | 3                 | 2 | 7  | <b>14</b>                                 |
| <b>R-M7</b>  | 4             | 3                 | 5 | 2 | 14 | 1                      | 0 | 1                 | 1 | 3  | <b>17</b>                                 |
| <b>R-M8</b>  | 5             | 3                 | 4 | 6 | 18 | 2                      | 1 | 1                 | 0 | 4  | <b>22</b>                                 |
| <b>R-M9</b>  | 1             | 2                 | 3 | 1 | 7  | 2                      | 3 | 3                 | 2 | 10 | <b>17</b>                                 |
| <b>R-M10</b>   | 4             | 3                 | 5 | 4 | 16 | 2                      | 4 | 0                 | 3 | 9  | <b>25</b>                                 |
| <b>R-M11</b>   | 0             | 1                 | 0 | 0 | 1  | 1                      | 2 | 1                 | 0 | 3  | <b>4</b>                                  |
| <b>R-M12</b>   | 3             | 2                 | 2 | 4 | 11 | 1                      | 1 | 1                 | 2 | 5  | <b>16</b>                                 |
| <b>R-M13</b>   | 3             | 4                 | 2 | 2 | 11 | 3                      | 2 | 2                 | 2 | 9  | <b>20</b>                                 |
| <b>R-M14</b>   | 1             | 3                 | 1 | 4 | 9  | 4                      | 3 | 6                 | 5 | 18 | <b>27</b>                                 |
| <b>R-M15</b>   | 2             | 2                 | 3 | 0 | 7  | 2                      | 4 | 4                 | 1 | 11 | <b>18</b>                                 |
| <b>R-M16</b>   | 4             | 2                 | 3 | 1 | 10 | 1                      | 3 | 0                 | 2 | 6  | <b>16</b>                                 |
| <b>R-M17</b>   | 1             | 0                 | 1 | 2 | 4  | 1                      | 1 | 2                 | 2 | 6  | <b>10</b>                                 |
| <b>R-M18</b>   | 4             | 3                 | 2 | 5 | 14 | 1                      | 2 | 3                 | 3 | 9  | <b>23</b>                                 |
| <b>R-M19</b>   | 4             | 2                 | 2 | 5 | 13 | 2                      | 0 | 3                 | 2 | 7  | <b>20</b>                                 |
| <b>R-M20</b>   | 1             | 1                 | 2 | 0 | 4  | 2                      | 1 | 1                 | 2 | 6  | <b>10</b>                                 |
| <b>R-M21</b>   | 3             | 2                 | 5 | 2 | 12 | 1                      | 3 | 1                 | 2 | 7  | <b>19</b>                                 |

|              |   |   |   |   |    |   |   |   |   |    |           |
|--------------|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|-----------|
| <b>R-M22</b> | 0 | 1 | 1 | 0 | 2  | 2 | 1 | 1 | 1 | 5  | <b>7</b>  |
| <b>R-M23</b> | 0 | 2 | 3 | 2 | 7  | 4 | 3 | 2 | 3 | 12 | <b>19</b> |
| <b>R-M24</b> | 4 | 3 | 4 | 1 | 12 | 4 | 4 | 5 | 5 | 18 | <b>30</b> |
| <b>R-M25</b> | 4 | 6 | 5 | 8 | 23 | 2 | 4 | 3 | 4 | 13 | <b>36</b> |
| <b>R-M26</b> | 3 | 4 | 5 | 4 | 16 | 2 | 3 | 2 | 2 | 9  | <b>25</b> |
| <b>R-M27</b> | 3 | 1 | 2 | 1 | 7  | 5 | 3 | 3 | 4 | 15 | <b>22</b> |
| <b>R-M28</b> | 4 | 2 | 2 | 1 | 9  | 3 | 2 | 3 | 4 | 12 | <b>21</b> |
| <b>R-M29</b> | 5 | 5 | 4 | 6 | 20 | 3 | 0 | 4 | 2 | 9  | <b>29</b> |
| <b>R-M30</b> | 0 | 3 | 3 | 3 | 9  | 3 | 2 | 0 | 3 | 8  | <b>17</b> |
| <b>R-M31</b> | 1 | 2 | 2 | 0 | 5  | 2 | 1 | 0 | 3 | 6  | <b>11</b> |
| <b>R-M32</b> | 4 | 2 | 1 | 4 | 11 | 4 | 6 | 5 | 3 | 18 | <b>29</b> |
| <b>R-M33</b> | 1 | 3 | 5 | 2 | 13 | 3 | 0 | 3 | 2 | 8  | <b>21</b> |

Fuente: Autores

**Figura 4**

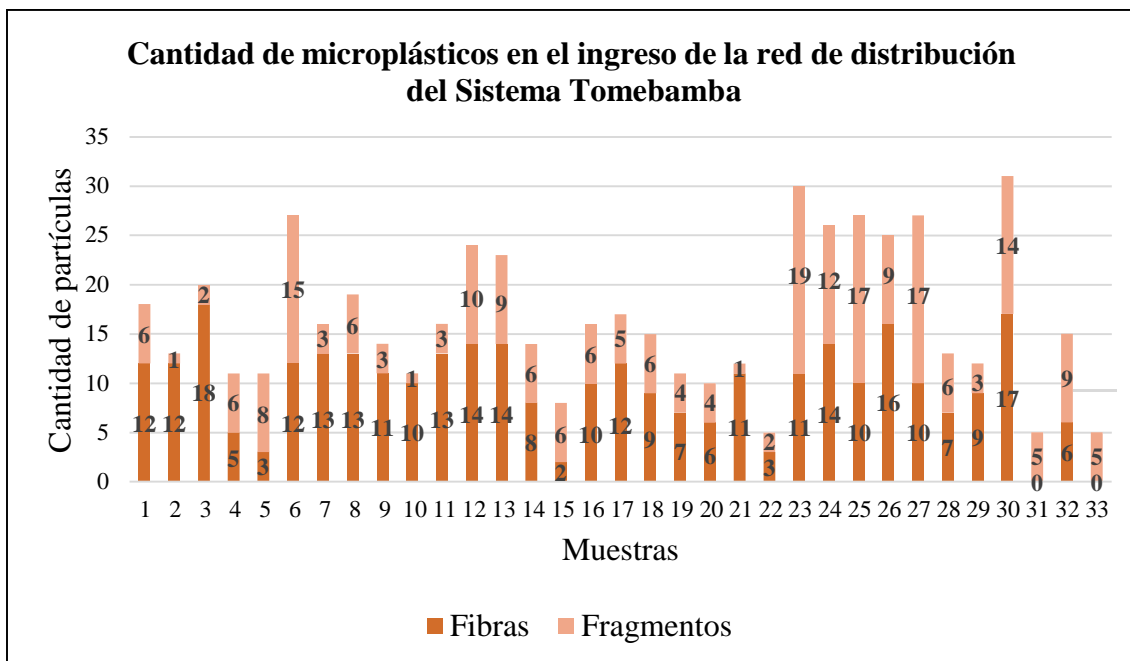
*Cantidad de microplásticos en la captación*



Fuente: Autores

**Figura 5**

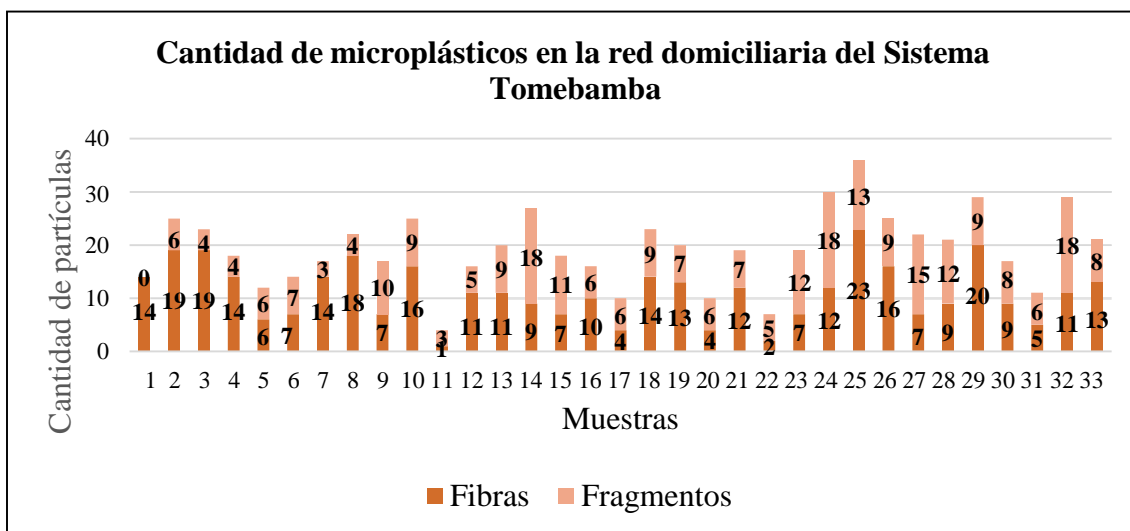
*Cantidad de microplásticos en el ingreso a la red de distribución*



Fuente: Autores

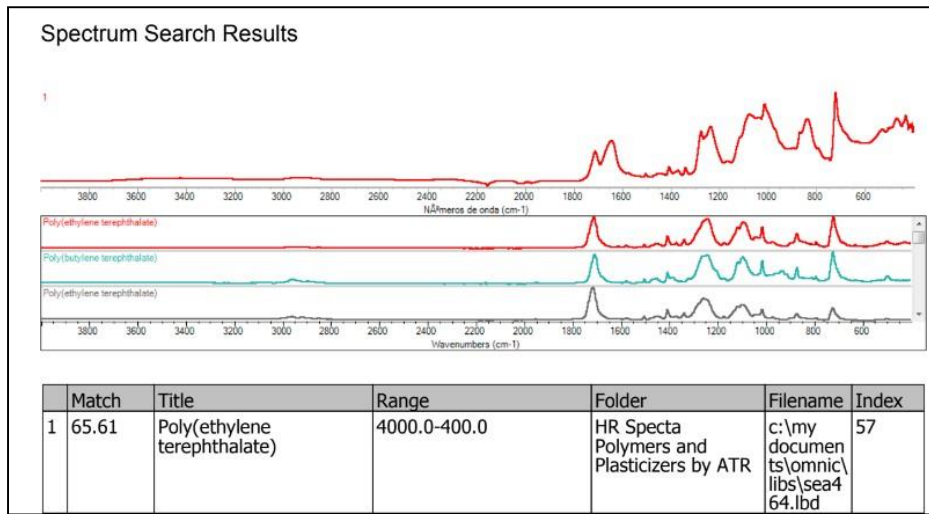
**Figura 6**

*Cantidad de microplásticos en la red de distribución*

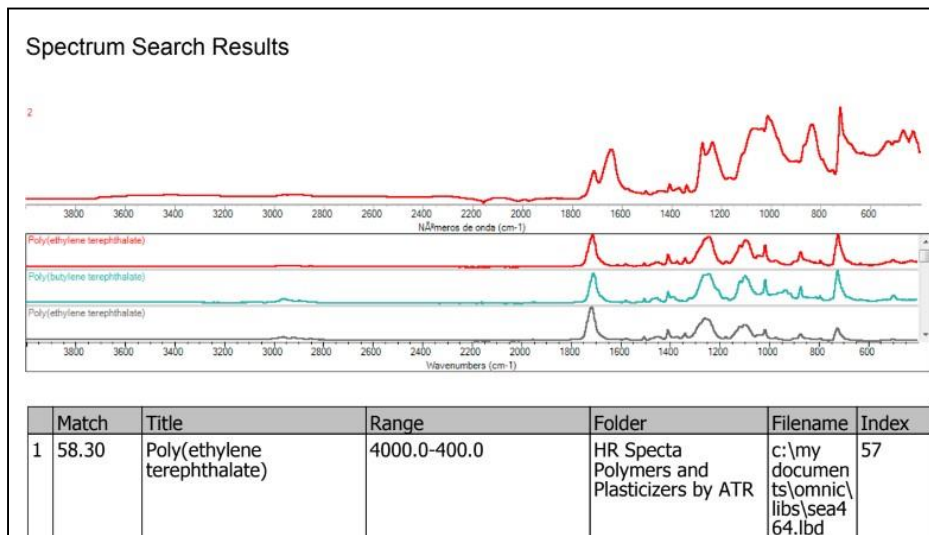


Fuente: Autores

**ANEXO H:** Espectros infrarrojos de estándares de microplásticos del proceso de Captación

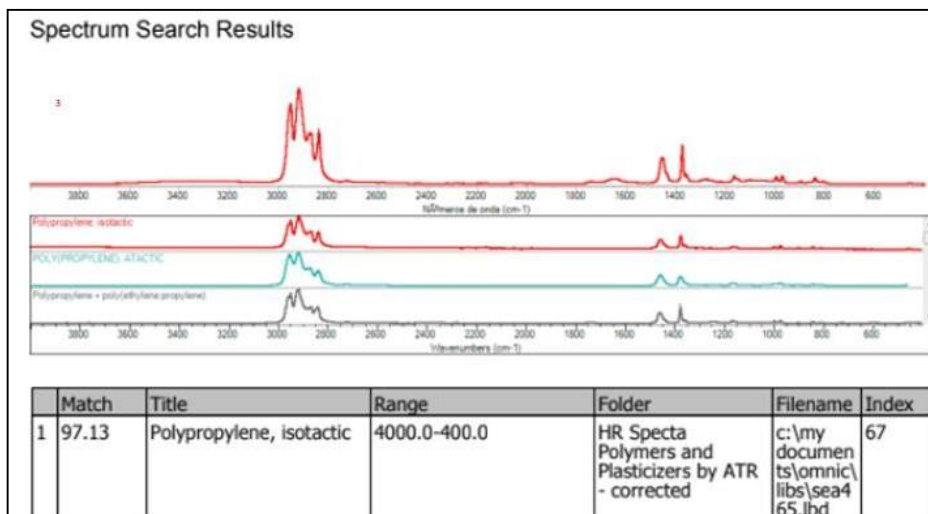


Reporte del punto de muestreo captación C-M1

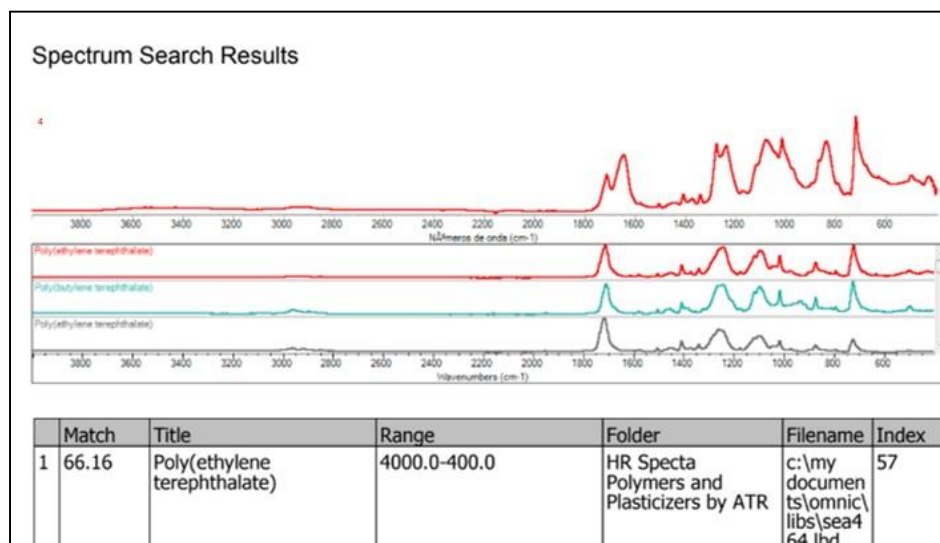


Reporte del punto de muestreo captación C-M5

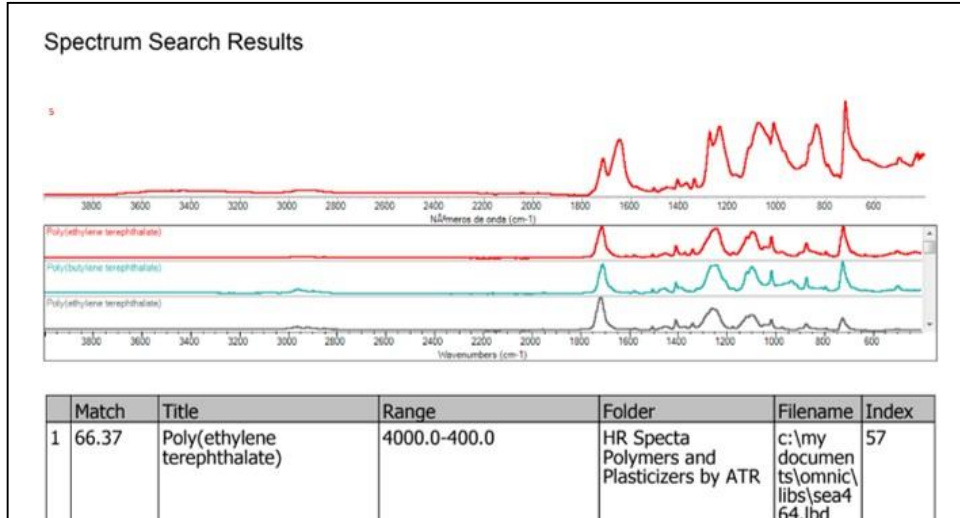




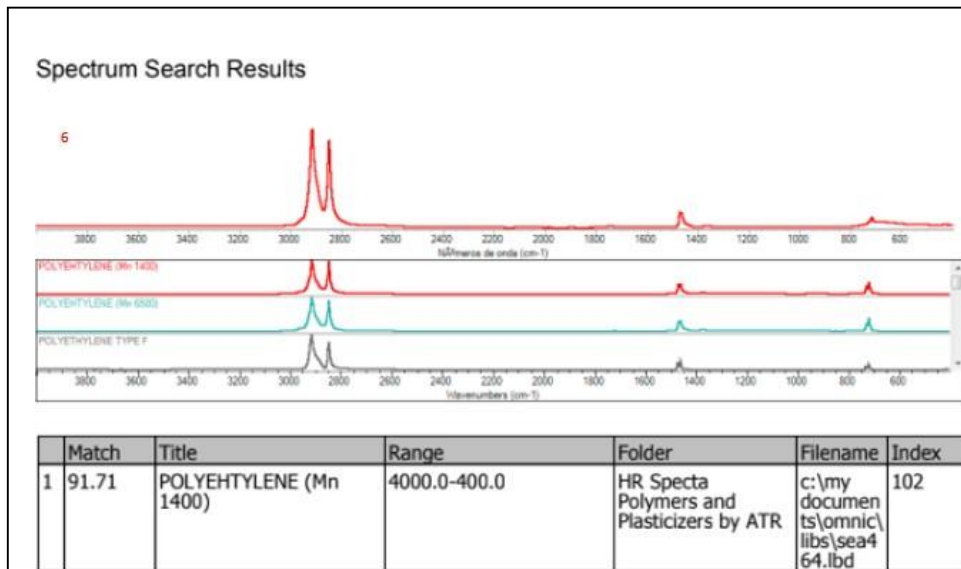
Reporte del punto de muestreo captación C-M6



Reporte del punto de muestreo captación C-M12

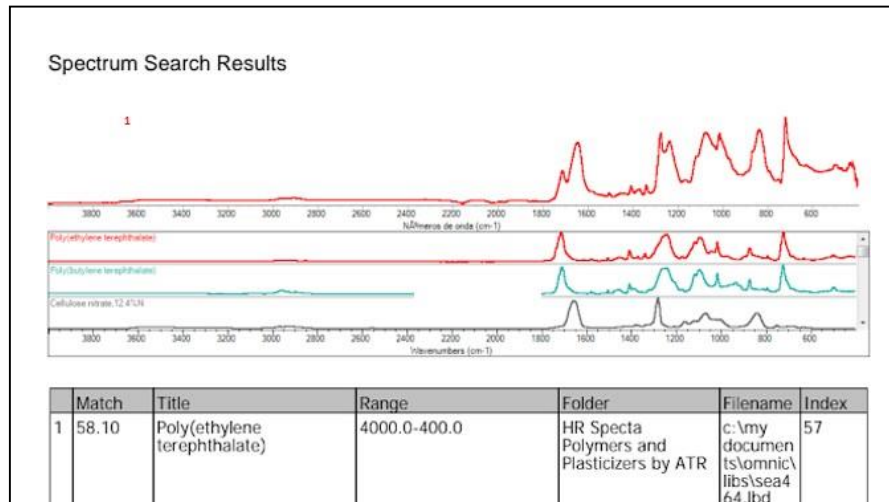


Reporte del punto de muestreo captación C-M17

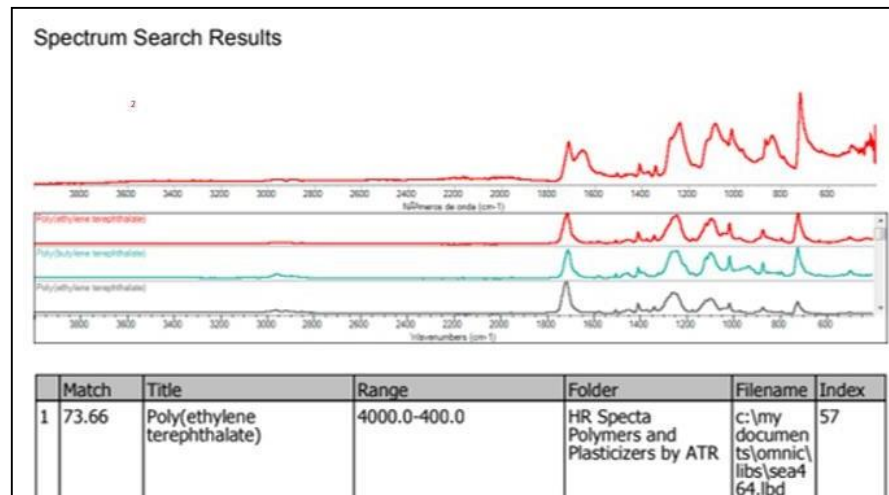


Reporte del punto de muestreo captación C-M30

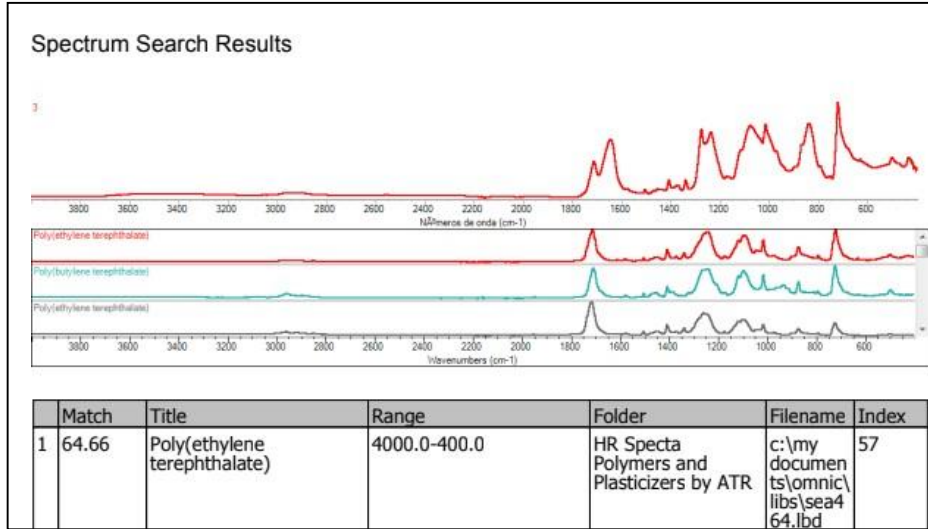
**ANEXO F:** Espectros infrarrojos de estándares de microplásticos del proceso de Ingreso a la red domiciliaria



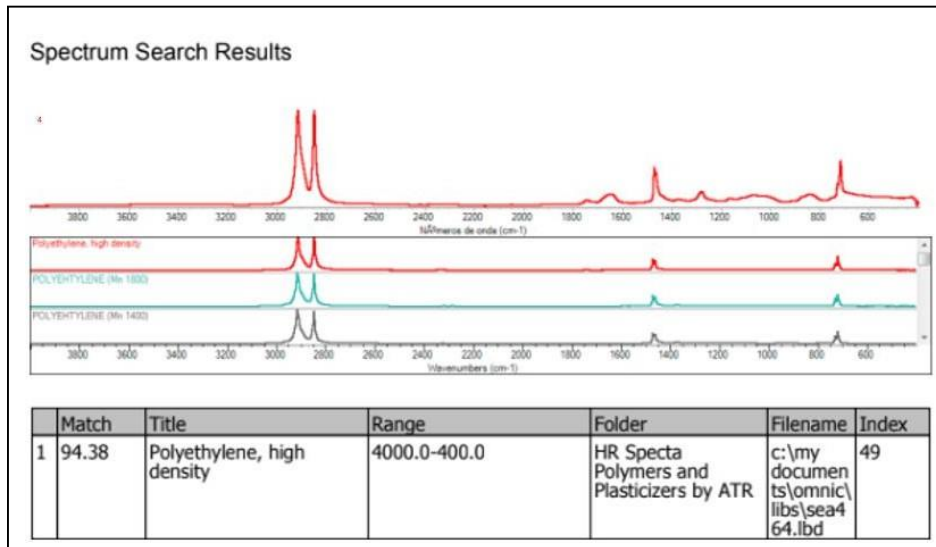
Reporte del punto de muestreo ingreso a la red de distribución I-M1



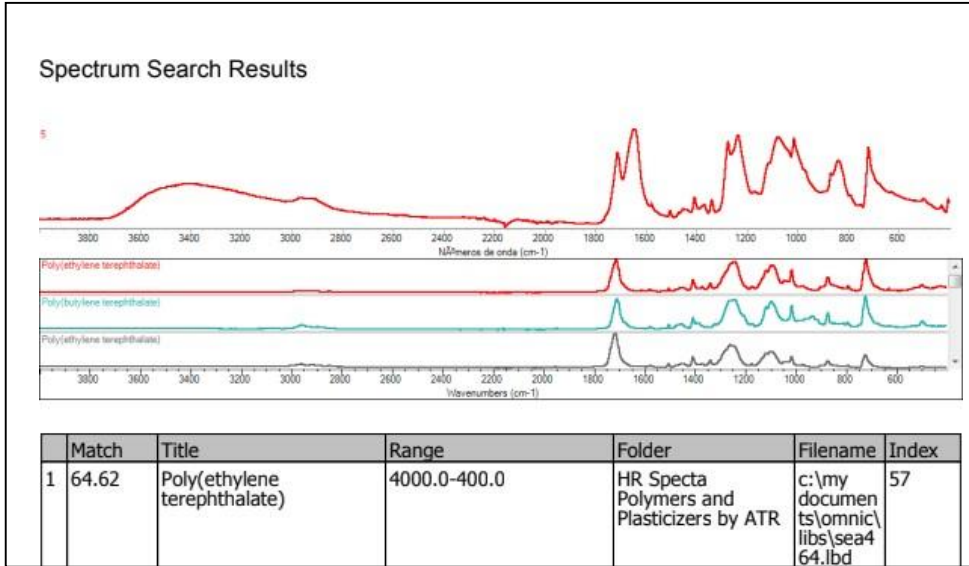
Reporte del punto de muestreo ingreso a la red de distribución I-M7



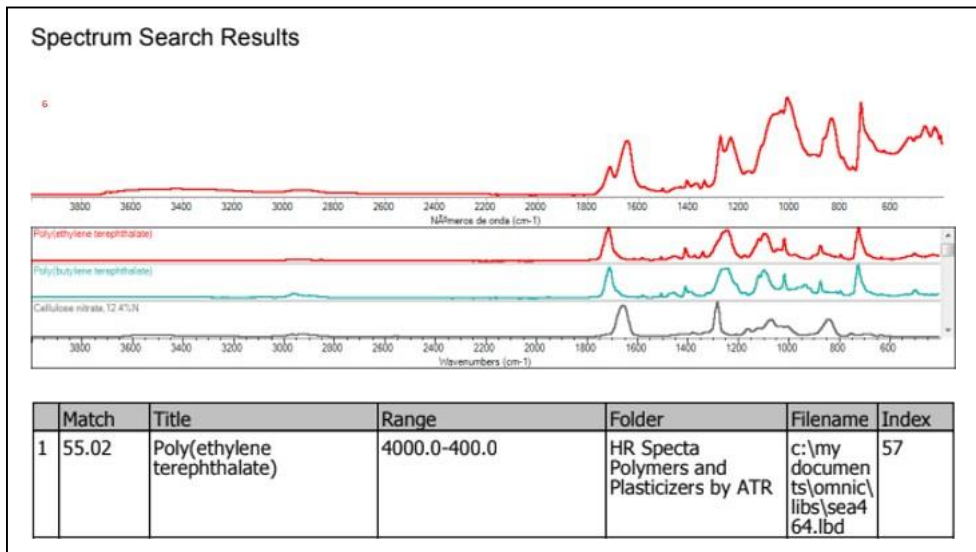
Reporte del punto de muestreo ingreso a la red de distribución I-M11



Reporte del punto de muestreo ingreso a la red de distribución I-M17

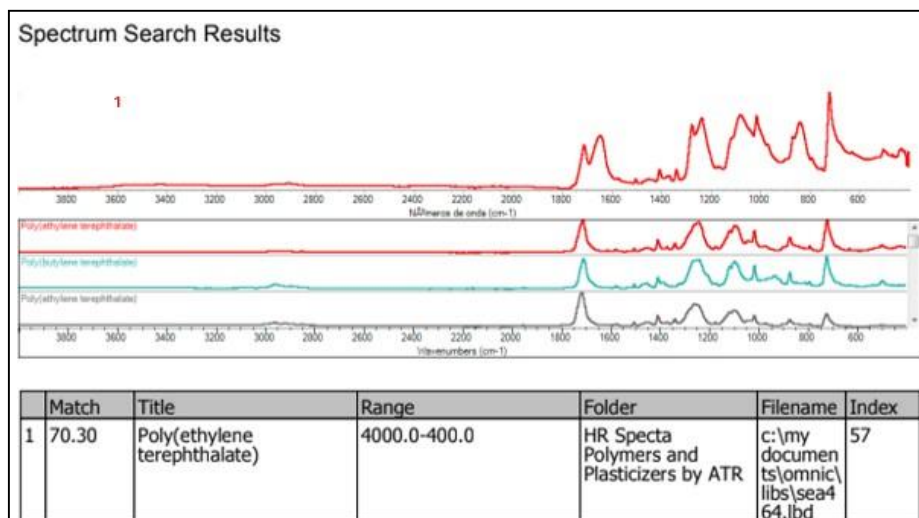


Reporte del punto de muestreo ingreso a la red de distribución I-M27

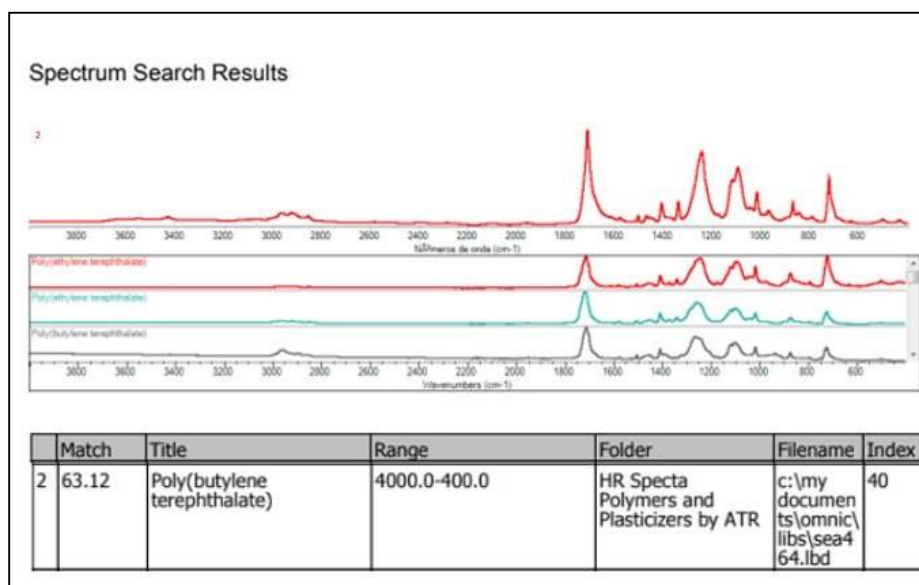


Reporte del punto de muestreo ingreso a la red de distribución I-M33

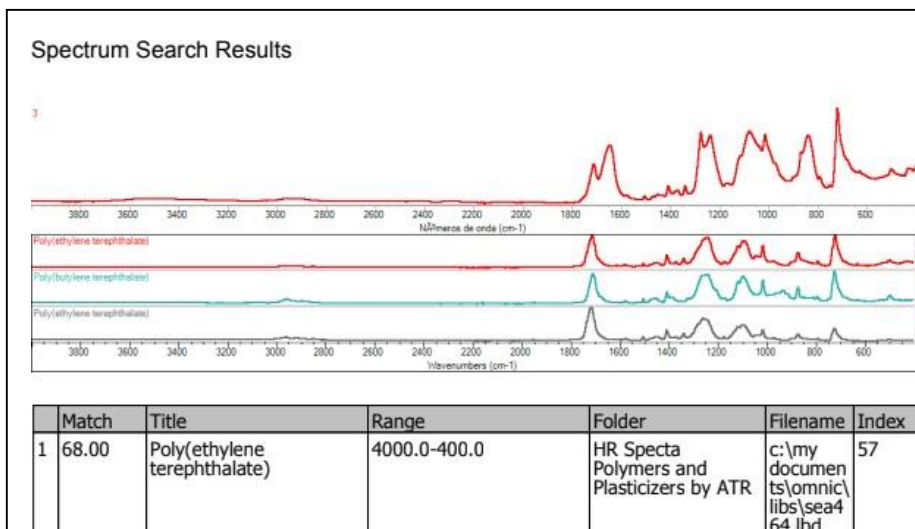
**ANEXO H:** Espectros infrarrojos de estándares de microplásticos del proceso de Red de distribución



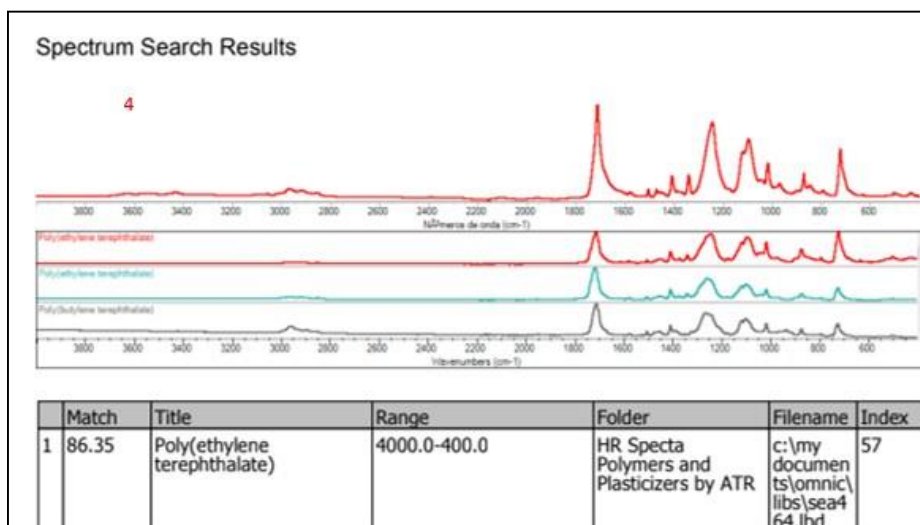
Reporte del punto de muestreo red domiciliaria D-M1



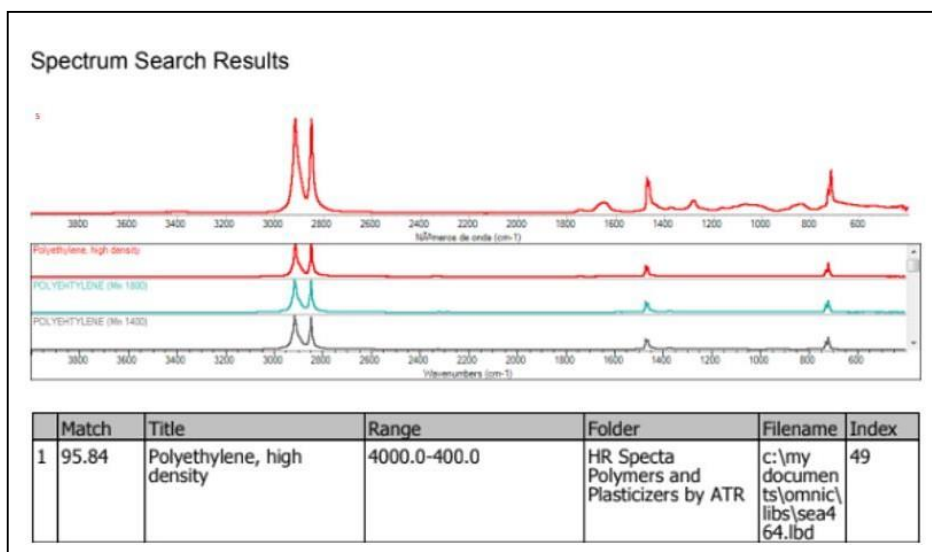
Reporte del punto de muestreo red domiciliaria D-M5



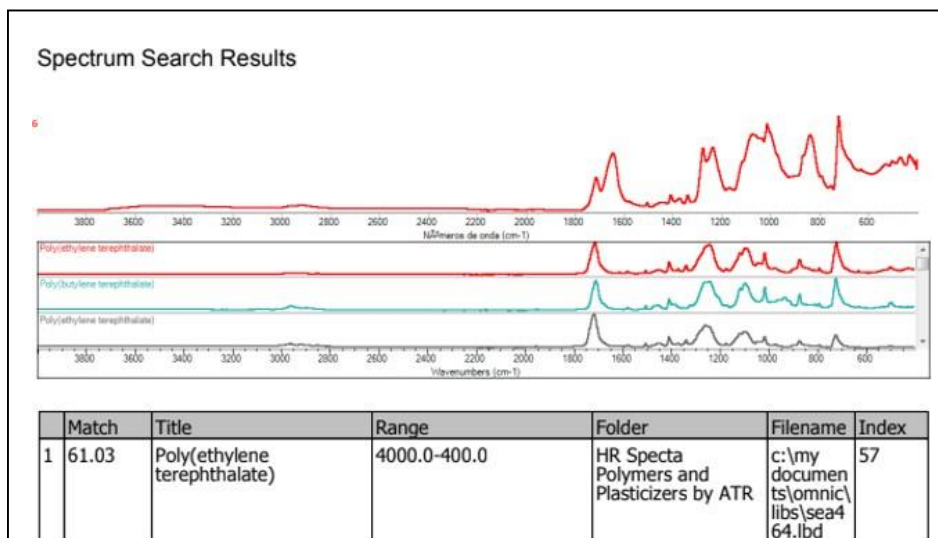
Reporte del punto de muestreo red domiciliaria D-M12



Reporte del punto de muestreo red domiciliaria D-M18



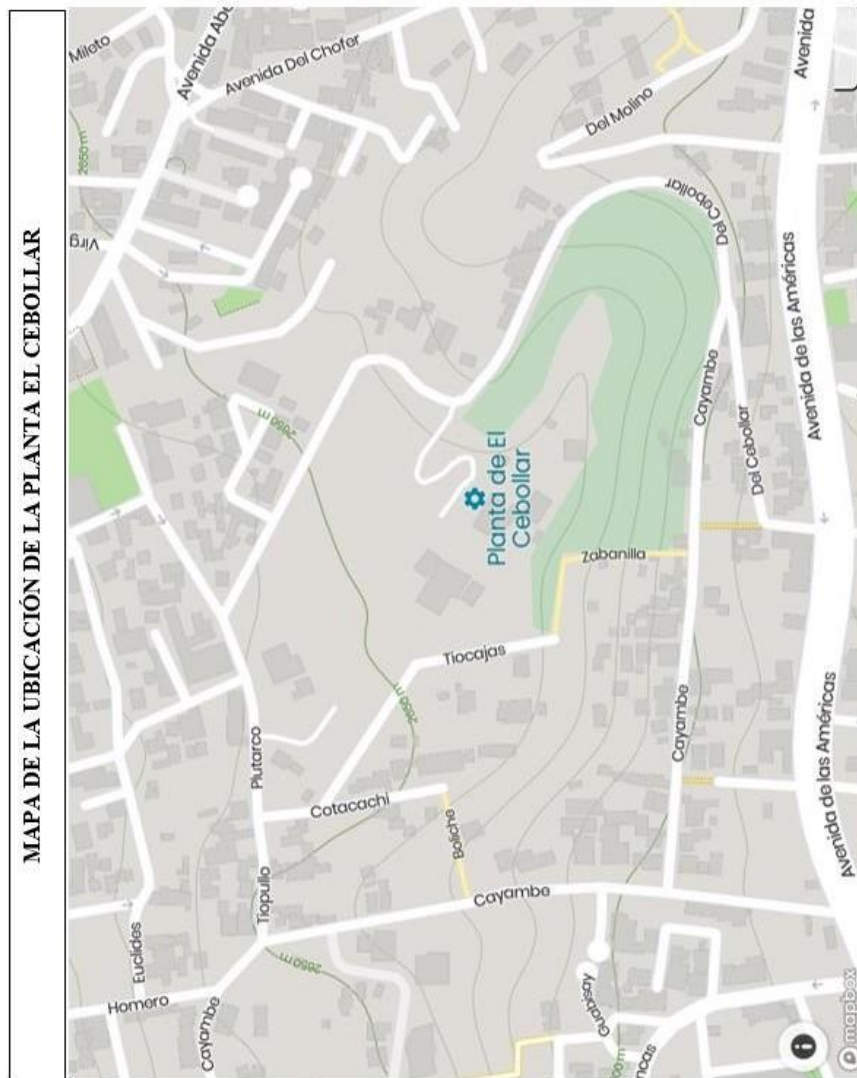
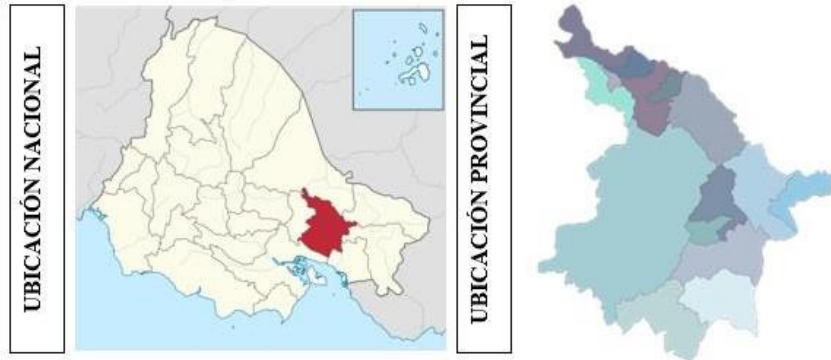
Reporte del punto de muestreo red domiciliaria D-M20



Reporte del punto de muestreo red domiciliaria D-M33



# ANEXO I: Mapa de ubicación de la Planta El Cebollar



## ANEXO J: Mapa de los sectores que abastece la Planta el Cebollar

