



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y METALES PESADOS PRESENTES EN LA  
MICROCUENCA DEL RÍO GUALACEÑO DEL CANTÓN LIMÓN, PROVINCIA DE  
MORONA SANTIAGO

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Biotecnólogo

AUTORES: MATIAS NICOLAS CUENCA CASTILLO  
MARÍA ALEXANDRA MAYANCELA GUIRACOCHA

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Matias Nicolas Cuenca Castillo con documento de identificación No. 1150127502 y María Alexandra Mayancela Guiracocha con documento de identificación No. 0107276529; manifestamos que:

Somos los autores 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, 7 de agosto del 2023

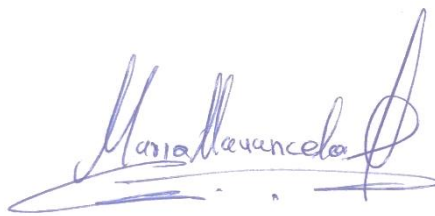
Atentamente,



---

Matias Nicolas Cuenca Castillo

1150127502



---

María Alexandra Mayancela Guiracocha

0107276529

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

Nosotros, Matias Nicolas Cuenca Castillo con documento de identificación No. 1150127502 y María Alexandra Mayancela Guiracocha con documento de identificación No. 0107276529, 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 autores del Trabajo experimental: “Determinación de microplásticos y metales pesados presentes en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, provincia de Morona Santiago”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biotecnólogo, 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, 7 de agosto del 2023

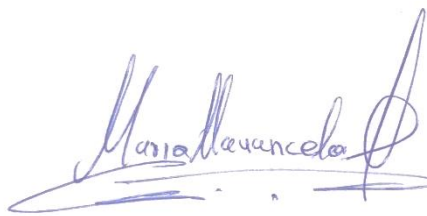
Atentamente,



---

Matias Nicolas Cuenca Castillo

1150127502



---

María Alexandra Mayancela Guiracocha

0107276529

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación No. 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y METALES PESADOS PRESENTES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO GUALACEÑO DEL CANTÓN LIMÓN, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO, realizado por Matias Nicolas Cuenca Castillo con documento de identificación No. 1150127502 y por María Alexandra Mayancela Guiracocha con documento de identificación No. 0107276529, 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, 7 de agosto del 2023.

Atentamente,



Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD.

0102156957

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios innumerables. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis hermanos, quienes siempre han estado ahí para animarme y motivarme en cada etapa de mi vida académica.

A mi compañera de tesis, por ser mi apoyo incondicional y estar siempre para mí, desde el primer ciclo hasta este momento.

A mi querido tutor, Dr. Pablo Arévalo, por su guía experta, paciencia y dedicación en ayudarme a dar forma a mi investigación y a crecer personal y profesionalmente.

A mis amigos y seres queridos, por su comprensión, palabras de aliento y por estar a mi lado en los momentos difíciles.

Agradezco sinceramente a todas las personas que participaron en mi investigación, ya sea como participantes, colaboradores o consejeros. Su contribución fue invaluable para el éxito de este estudio.

*Matias Nicolas Cuenca Castillo*

## DEDICATORIA

A mis amados padres, quienes han sido los pilares fundamentales de mi vida. Especialmente en este proyecto prioritario para mí ya que me han brindado un apoyo incondicional y un amor que trasciende cualquier sacrificio diario. Reconozco que este proyecto no es solo mío, sino también de ellos, ya que su influencia y respaldo han sido indispensables para mi crecimiento y éxito académico.

A mi querida hermana, cuyo apoyo ha sido una fuerza inspiradora en todas las etapas de mi vida académica.

A mi amado esposo, quién me ha brindado su amor incondicional y apoyo constante a lo largo de este proyecto académico.

A mi angelito en mi vientre, quién ha sido una fuente inagotable de fortaleza y perseverancia en la realización de este logro.

A mi querido abuelo, papá lucho, quién desde el cielo ha sido fuente de apoyo espiritual para mantenerme constante en este proyecto académico.

A mi compañero de tesis por su apoyo brindado desde el primer día hasta la etapa más valiosa de nuestra carrera.

A mi estimado mentor, Dr. Pablo Arévalo, por su orientación, paciencia y compromiso en este proyecto de investigación.

*María Alexandra Mayancela Guracocha*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios, por permitirme llegar hasta este momento, por darme la oportunidad de compartir con compañeros y docentes inigualables, que siempre recordaré con mucho amor.

A mis padres por ser mi apoyo cuando realmente sentía que no podía lograrlo, siempre estuvieron conmigo en cada etapa de este maravilloso proceso.

A mí mismo, por nunca rendirme a pesar de los momentos desafiantes en los que me sentía abrumado, solo y sin motivación. Aunque estuve lejos de mi hogar y mis ojos se llenaron de lágrimas en las noches, encontré la fuerza para levantarme cada día y seguir adelante.

*Matias Nicolas Cuenca Castillo.*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a Dios, en primer lugar, por brindarme la fuerza y el coraje necesario para alcanzar este momento significativo en mi vida. Su guía divina ha sido mi faro en los momentos de dificultad y ha iluminado mi camino hacia el logro de esta meta académica.

Agradezco a mis queridos padres por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de esta travesía académica. Desde el primer día, han estado a mi lado, brindándome su aliento, motivación y guía en cada paso que he dado. Su sacrificio y dedicación han sido una fuente inagotable de inspiración para perseguir mis metas y alcanzar este logro significativo.

Mi sincero agradecimiento a mi amado esposo por su amor incondicional y apoyo inquebrantable a lo largo de este logro académico. Desde el comienzo de esta travesía, ha estado a mi lado, brindándome su aliento, comprensión y motivación.

A mí misma por nunca darme por vencida a lo largo de este trayecto desafiante a pesar de las malas noches y con lágrimas en los ojos por los momentos de frustración, encontré la fuerza para seguir día a día y dar lo mejor de mí

*María Alexandra Mayancela Guracoccha.*



## RESUMEN

Actualmente la contaminación ambiental es una problemática palpable cada vez más grande. En este sentido, la contaminación del agua se presenta como uno de los desafíos más significativos, puesto que la calidad del recurso hídrico puede estar comprometida por la presencia de microplásticos y metales pesados. Por tanto, el presente estudio con un nivel de investigación descriptivo, determinó la presencia de metales pesados y microplástico en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, a través de métodos analíticos, determinando sus concentraciones y el cumplimiento de la norma ambiental vigente, mediante el análisis de 12 muestras compuestas, recolectadas en seis puntos representativos de muestreo, establecidos con base en la norma INEN 2226:2013. Dando como resultado que, las aguas de la microcuenca del río Gualaceño, contienen microplásticos en un promedio general de 25 partículas/ 250 ml, con presencia de fibras con rangos de tamaño de 3.23 a 425.78  $\mu\text{m}$  y fragmentos con un tamaño de 3.23 a 425.78  $\mu\text{m}$ . Además, se encontró la presencia de varios tipos polímeros plásticos como Tereftalato de polietileno (PET), Politetrafluoroetileno (PTFE) y Poliamida. Finalmente, con respecto a metales pesados se encontró presencia de Cromo, Plomo y Mercurio en concentraciones promedio de 0.51 ppb Cr, 2.04 ppb Pb y 0.06 ppb Hg, mismas que fueron comparadas con la norma ambiental TULSMA-Anexo I y demostraron estadísticamente, que se encuentran dentro de los límites permisibles. Concluyendo así, que las aguas de la microcuenca del río Gualaceño no se encuentran contaminadas.

**Palabras clave:** Microplásticos, Metales pesados, ICP-EOS, FTIR, agua superficial, microcuenca, río Gualaceño.

## ABSTRACT

Currently, environmental pollution is an increasingly tangible issue. In this context, water pollution stands out as one of the most significant challenges, as the quality of water resources can be compromised by the presence of microplastics and heavy metals. Therefore, this descriptive research study aimed to determine the presence of heavy metals and microplastics in the Gualaceño River micro-watershed in the Limón canton, using analytical methods to assess their concentrations and compliance with current environmental standards. This was achieved through the analysis of 12 composite samples collected at six representative sampling points, following the guidelines of the INEN 2226:2013 standard. The results revealed that the waters of the Gualaceño River micro-watershed contain an average of 25 microplastic particles per 250 ml, with the presence of fibers ranging in size from 3.23 to 425.78  $\mu\text{m}$  and fragments with a size of 3.23 to 425.78  $\mu\text{m}$ . Moreover, various plastic polymer types such as Polyethylene Terephthalate (PET), Polytetrafluoroethylene (PTFE), and Polyamide were identified. In terms of heavy metals, the study found the presence of Chromium, Lead, and Mercury in average concentrations of 0.51 ppb Cr, 2.04 ppb Pb, and 0.06 ppb Hg, respectively. These concentrations were statistically compared with the TULSMA-Anexo I environmental standard, demonstrating that they are within permissible limits. In conclusion, this study indicates that the waters of the Gualaceño River micro-watershed are not contaminated, as they meet the established environmental standards.

**Keywords:** Microplastics: Microplastics, Heavy metals, ICP-EOS, FTIR, superficial water, micro-watershed, Gualaceño river.

## Índice

<b>CAPITULO 1</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema de investigación</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Pregunta de investigación</b>	<b>20</b>
<b>1.3 Justificación</b>	<b>20</b>
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>21</b>
<b>1.4.1 Objetivo general</b>	<b>21</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Limitaciones del estudio</b>	<b>22</b>
<b>1.6 Delimitación del estudio</b>	<b>22</b>
<b>1.7 Hipótesis</b>	<b>22</b>
<b>CAPITULO 2</b>	<b>23</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Estado de arte (antecedentes)</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Marco Conceptual</b>	<b>34</b>
<b>2.1.1. Polución</b>	<b>34</b>
<b>2.1.2. Polietileno</b>	<b>34</b>
<b>2.1.3. Polietileno de alta densidad</b>	<b>34</b>
<b>2.1.4. Tereftalato de polietileno</b>	<b>34</b>
<b>2.1.5. Polipropileno</b>	<b>35</b>
<b>2.1.6. Microplásticos secundarios</b>	<b>35</b>
<b>2.1.7. Microplásticos primarios</b>	<b>35</b>
<b>2.1.8. Fragmentos</b>	<b>35</b>
<b>2.1.9. Fibras plásticas</b>	<b>36</b>
<b>2.1.10. Pellets</b>	<b>36</b>
<b>2.1.11. Rojo de Nilo</b>	<b>37</b>
<b>2.1.12. Partículas Suspendidas Totales</b>	<b>37</b>
<b>2.1.13. Trazas</b>	<b>37</b>
<b>2.1.14. Métodos analíticos</b>	<b>38</b>
<b>2.1.15. Separación de fases</b>	<b>38</b>
<b>2.1.16. Fluorescencia</b>	<b>38</b>
<b>2.1.17. Luz de Malla</b>	<b>39</b>

2.1.18.	Curva de Calibración	39
2.1.19.	Solución Patrón	39
2.3.	Fundamentación Teórica	40
2.3.1.	Metales pesados	40
2.3.1.1.	Generalidades de los Metales Pesados	40
2.3.1.2.	Propiedades Fisicoquímicas de los Metales y Metaloides	41
2.3.1.3.	Clasificación de los metales pesados	41
2.3.1.4.	Origen de Emisión de los Metales Pesados	42
2.3.1.5.	Contaminación de metales pesados	43
2.3.1.6.	Toxicidad de los metales pesados	43
2.3.2.	Efectos al Medio Ambiente por contaminación de Metales Pesados	43
2.3.2.1.	Efectos sobre el agua	43
2.3.2.2.	Efectos en el aire	44
2.3.2.3.	Efectos en el suelo	44
2.3.2.4.	Efectos sobre la salud humana	45
2.3.3.	Métodos de Detección de Metales pesados	46
2.3.3.1.	Espectrofotometría	46
2.3.4.	Métodos Espectrofotométricos de Análisis	46
2.3.4.1.	Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible	47
2.3.4.2.	Espectrofotometría de emisión atómica de fometría de llama	47
2.3.5.	Métodos Espectroscópicos de Análisis de metales pesados	48
2.3.5.1.	Espectroscopia	48
2.3.5.2.	Espectroscopia de emisión atómica	48
2.3.5.3.	Espectroscopia de absorción atómica	49
2.3.5.4.	Espectroscopia de fluorescencia atómica	50
2.3.5.5.	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier	50
2.3.6.	Metales pesados más importantes	51
2.3.6.1.	Plomo (Pb)	51
2.3.6.2.	Mercurio (Hg)	52
2.3.6.3.	Cromo (Cr)	52
2.3.7.	Microplásticos	53
2.3.7.1.	Generalidades de los microplásticos	54
2.3.7.2.	Macroplásticos	54
2.3.7.3.	Plásticos	55

2.3.8.	El impacto ambiental de los microplásticos	55
2.3.8.1.	Efectos del Microplásticos en la Salud	56
2.3.9.	Métodos de Extracción para Microplásticos	56
2.3.9.1.	Digestión Oxidativa	56
2.3.9.2.	Digestión Acida	57
2.3.9.3.	Digestión Enzimática	57
2.3.9.4.	Microfiltración	57
2.3.10.	Preparación de Analitos para un Análisis Químico	58
2.3.11.	Volumen de la Muestra Para Filtrar	58
2.3.12.	Medios de Filtración	59
2.3.12.1.	Medios Filtración superficial	59
2.3.12.2.	Medios Filtrantes de Profundidad	59
2.3.13.	Características del Medio Filtrante Empleado en la Experimentación	59
2.3.13.1.	Aplicaciones de los Filtros de Nitrato de Celulosa	60
2.3.13.2.	Especificaciones Técnicas de los filtros de Membrana de Nitrato de Celulosa	60
2.3.14.	Métodos de Detección de Microplásticos	61
2.3.14.1.	Microscopía Óptica	61
2.3.14.2.	Microscopía Electrónica	62
2.3.14.3.	Microscopia de Barrido por Sonda	62
2.3.14.4.	Microscopia de Fluorescencia	62
	<b>CAPITULO 3</b>	<b>64</b>
	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>64</b>
	<b>3.2 Nivel de investigación</b>	<b>64</b>
	<b>3.3 Diseño de investigación</b>	<b>64</b>
	<b>3.4 Población y muestra</b>	<b>65</b>
	<b>3.5 Variables</b>	<b>65</b>
	<b>3.5.1. Variable dependiente</b>	<b>65</b>
	<b>3.5.2. Variable independiente</b>	<b>65</b>
	<b>3.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos</b>	<b>66</b>
	<b>3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos</b>	<b>67</b>
	<b>3.1 Protocolo implementado</b>	<b>67</b>
	<b>3.1.1 Selección de puntos de muestreo</b>	<b>67</b>
	<b>3.1.2 Cálculo del número de muestras por punto de muestreo</b>	<b>68</b>
	<b>3.1.3 Toma de muestras</b>	<b>69</b>

3.1.4 Duración y frecuencia del muestreo	72
3.1.5 Conservación de muestras	72
3.2 Proceso descriptivo para microplástico	73
3.2.1 Materiales	73
3.2.3 Proceso de digestión oxidativa	73
3.2.4 Proceso de microfiltración	74
3.2.5 Proceso de tinción y fluorescencia	74
3.2.6 Observación por microscopio invertido de fluorescencia	74
3.2.7 Identificación a través del FTIR	74
3.3 Proceso descriptivo para metales pesados	75
3.3.1 Materiales	75
3.3.2 Preparación de las muestras	75
3.3.3 Proceso de generación de la curva de calibración	75
3.3.4 Configuración del equipo ICP-OES	76
<b>CAPITULO 4</b>	<b>78</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>78</b>
4.1. Análisis y discusión de los resultados de microplástico	78
4.1.2 Morfología de los microplásticos	78
4.1.3 Concentración de partículas de microplástico	80
4.1.4 Tamaño de partículas de microplástico	81
4.1.5 Tipo de partículas de microplásticos	83
4.2 Análisis estadístico	85
4.3 Análisis y discusión de los resultados de metales pesados	90
4.4 Análisis estadístico	91
<b>CAPITULO 5</b>	<b>97</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>97</b>
5.1. Conclusiones	97
5.1.1. Conclusiones microplástico	97
5.1.2. Conclusiones metales pesados	97
5.2. Recomendaciones	98
5.2.1. Recomendaciones microplástico	98
5.2.2. Recomendaciones metales pesados	99
<b>REFERENCIAS</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>108</b>

<b>Anexo 1: Toma de muestras en la microcuenca del río Gualaceño.</b>	<b>109</b>
<b>Anexo 2: Protocolo descriptivo para microplásticos</b>	<b>110</b>
<b>Anexo 3: Microplásticos en la microcuenca del Río Gualaceño.</b>	<b>111</b>
<b>Anexo 4: Cálculo de muestras por punto de muestreo.</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 4.1: Tabla de registro de datos.</b>	<b>114</b>
<b>Anexo 5: Concentración de microplásticos en la entrada del rio de la microcuenca del Río Gualaceño.</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 11: Protocolo descriptivo para metales pesados.</b>	<b>121</b>
<b>Anexo 12: Concentraciones de metales pesados la microcuenca del Río Gualaceño.</b>	<b>122</b>
<b>Anexo 13: Mapa geográfico de la zona de estudio.</b>	<b>123</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1 Distribución de las muestras compuestas del estudio .....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 2 Materiales, equipos y reactivos para análisis de microplásticos.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 3 Materiales, equipos y reactivos para análisis de metales pesados. ....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 4 Curva de calibración para metales pesados. ....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 5 Parámetros de detección para el equipo ICP-EOS .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 6 Concentración de partículas de microplástico identificados.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 7 Tamaño de partículas de microplástico identificados.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 8 Tipo de partículas de microplástico identificadas.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 9 Estadística descriptiva .....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 10 Test de normalidad. ....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 11 Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 12 Prueba de U de Mann-Whitney .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 13 Concentración de metales pesados Cr, Pb y Hg.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 14 Prueba de hipótesis de una muestra .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 15 Prueba de hipótesis de una muestra .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 16 Prueba de hipótesis de una muestra .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 17 Test de normalidad .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 18 Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.....</b>	<b>95</b>



## **Índice de Figuras**

<b>Figura 1 Morfología de una fibra de microplástico .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 2 Morfología de un fragmento de microplástico.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 3 Diagrama de cajas y bigotes microplasticos.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4 Diagrama de cajas y bigotes metales pesados .....</b>	<b>96</b>

## **Índice de Ecuaciones**

<b>Ecuación 1 Formula para calcular número de muestras totales. ....</b>	<b>68</b>
--	-----------

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente la contaminación de los recursos naturales es una problemática palpable cada vez más grande, que afecta de gran manera a los recursos naturales (Anzules, 2022). Así, la contaminación del agua es uno de los desafíos más significativos actualmente, puesto que la calidad del recurso hídrico puede estar comprometida por microplásticos y metales pesados. Así la EPA (2022) menciona que más del 50% de ríos en todo el mundo están contaminados en cierta medida, lo cual constituye una notable preocupación debido a su impacto de estos contaminantes en el medio ambiente y la salud.

Los metales pesados y microplásticos en los ríos puede traer consigo graves problemas en el medio ambiente terrestre y acuático, que pueden ingresar a través de diversas fuentes antrópicas, como la actividad industrial, excavación minera y la agricultura (Pabón et al., 2020). Los metales pesados son elementos químicos metálicos resistentes a la biodegradación, derivados del desarrollo de actividades antrópicas relacionadas con la minería, la actividad industrial y el uso indiscriminado de la explotación de recursos, como el Pb, Cd, Ar y Hg, que pueden ser tóxicos para los organismos y bioacumularse en la cadena alimentaria, lo que puede tener consecuencias comprometedoras en la salud. Por otro lado, los microplásticos son pequeñas partículas de plástico (> a 5 milímetros), generados a partir de la fragmentación y descomposición de plásticos, persistentes por muchos años sin descomponerse completamente, pudiendo causar problemas ambientales importantes (Delgado et al., 2020). Además, la acumulación de contaminantes en los ríos puede afectar la calidad del agua, afectando el recurso hídrico. Por consiguiente, la contaminación de ríos y afluentes es un problema grave que requiere una respuesta para garantizar la protección y sostenibilidad de los recursos naturales (Hernández et al., 2019).

Así, esta investigación tiene como objetivo determinar la presencia de metales pesados y microplástico, presentes en la microcuenca del Río Gualaceño, a través de métodos analíticos, determinando sus concentraciones y el cumplimiento de la norma ambiental vigente, siendo necesaria para comprender mejor el impacto de la contaminación en el recurso hídrico. En este contexto, la presente investigación propone responder la siguiente hipótesis: ¿Las aguas de la microcuenca del río Gualaceño están contaminadas?, a través del levantamiento de información y procesamientos de datos. Además, la investigación presenta los siguientes capítulos: Introducción, marco teórico, metodología desarrollada en el tema de investigación. Seguidamente, la cuarta sección aborda análisis y resultados y finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

### **1.1 Planteamiento del problema de investigación**

El recurso agua es de gran importancia para todos los seres vivos. Sin embargo, la contaminación por microplástico y metales pesados, puede constituir un grave problema ambiental en la calidad del agua, debido que los microplásticos gracias a su tamaño, producto de la fragmentación y descomposición de plásticos, pueden ser absorbidos por diversos organismos acuáticos, lo que aumenta el riesgo de ser consumidos por seres humanos. Asimismo, los metales pesados son difíciles de degradar, pudiendo llegar a bioacumularse en diferentes receptores ecológicos, afectando considerablemente la calidad recursos naturales y la salud del ser humano. Existen diversas investigaciones relacionadas con estos contaminantes en diferentes contextos: agua de lluvia (Armijos y Castillo, 2022), agua potable (Vivar y Orellana, 2022) y agua de río (Pabon et al., 2020). La OMS (2022) menciona que la contaminación del agua por microplásticos y la presencia de metales pesados tiene un grave impacto ambiental y en la salud, y hace un llamado a la investigación y seguimiento de dichos contaminantes. Por tanto, se considera pertinente para el desarrollo de la presente investigación.

La contaminación por microplásticos y metales pesados en el recurso hídrico es de gran interés dentro del estudio, especialmente en los cuerpos de agua como ríos, de modo que, merece ser estudiado, debido a que los resultados obtenidos ayudarán significativamente a comprender la presencia y los efectos de estos contaminantes sobre la calidad del agua. Conforme a lo anteriormente mencionado y con el objetivo de contribuir al conocimiento científico en este campo, se plantea el siguiente estudio: “Determinación de microplásticos y metales pesados presentes en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, provincia de Morona Santiago”.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Existe presencia de metales pesados y microplástico en las aguas de la microcuenca del río Gualaceño?

## **1.3 Justificación**

Las actividades antropogénicas relacionadas con la explotación minera y el desarrollo agroindustrial indiscriminado provocan un importante efecto ambiental sobre el recurso hídrico de ríos y afluentes, debido al notable incremento de metales pesados y microplásticos, que pueden llegar a acumularse en los organismos acuáticos, afectando su desarrollo y reproducción, llegando a ser nocivos para los seres humanos. Además, los metales utilizados en procesos mineros pueden afectar la calidad del agua, afectando la cantidad de O<sub>2</sub>, alterando el pH y provocando la muerte de diferentes especies y disminuyendo la biodiversidad de la zona. Por otro lado, la presencia de microplásticos, afectan la calidad del agua y sus propiedades, y pueden tener efectos negativos y tóxicos para la salud, afectando diversos órganos y sistemas. Además, dichos contaminantes, no logran degradarse con facilidad y pueden llegar a bioacumularse por mucho tiempo en diversos receptores ecológicos.

Así, el cantón Limón, ubicado en la provincia de Morona Santiago, con una población de 10 mil habitantes dedicados mayoritariamente a la producción agropecuaria, cuenta con un importante recurso hídrico y el desarrollo de sus actividades involucra mayoritariamente el uso de este, por lo cual es relevante conocer la calidad del agua, con el fin de garantizar la salud y preservar el ecosistema local. La evaluación de dichos parámetros puede servir como herramienta para analizar el sostenimiento del recurso hídrico; puesto que, los metales pesados y microplásticos pueden tener graves afecciones en la salud y medio ambiente. Finalmente, existe una falta de estudios y datos disponibles sobre microplásticos y metales pesados en la microcuenca del Río Gualaceño, lo que hace que esta investigación sea aún más relevante y necesaria.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar la presencia de metales pesados y microplástico, presentes en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, a través de métodos analíticos, determinando sus concentraciones y el cumplimiento de la norma ambiental vigente.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Establecer los sitios de toma de muestra en la microcuenca del río Gualaceño, mediante el uso de tecnologías de Georreferenciación, determinando los puntos más representativos de muestreo.

Cuantificar metales pesados y microplástico, presentes en el recurso hídrico de la microcuenca del río Gualaceño, a través de métodos químicos analíticos y compararlos con la normativa ambiental.

Comparar los datos obtenidos con respecto a metales pesados y microplástico, a través de análisis estadístico, generando inferencias sobre la calidad del recurso hídrico de la microcuenca del río Gualaceño.

### **1.5 Limitaciones del estudio**

Es importante tener en cuenta algunas limitaciones significativas que se han presentado. Principalmente, se han enfrentado desafíos logísticos debido a la dificultad de acceso a la microcuenca. Esto ha dificultado establecer un número mayor de puntos de muestreo y mantener una mayor frecuencia en la recolección de las muestras en este estudio.

### **1.6 Delimitación del estudio**

El estudio se realizó en la microcuenca del río Gualaceño, con una extensión de 1 400 ha, que corresponden desde La Virgen - Gualaceo, X8WV+9G3 (Limite entre Azuay y Morona Santiago) hasta Centro de interpretación del Área Ecológica de Conservación Municipal Tinajillas V9XQ+95M, San Juan Bosco.

### **1.7 Hipótesis**

La presente investigación propone responder a la siguiente hipótesis planteada: ¿Las aguas de la microcuenca del río Gualaceño están contaminadas?

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Estado de arte (antecedentes)

Uno de los temas globales más importantes en la actualidad es la investigación de metales pesados y microplásticos. Dado que estos elementos no se descomponen de forma natural ni se eliminan del medio ambiente, la investigación se ha centrado en comprender su presencia en una variedad de entornos. A continuación, se mencionan algunos estudios en donde se presencia metales pesados en diversas fuentes.

Según el estudio de Román-Ross et al. (2020), los niveles encontrados de arsénico (0,07 ppm) y plomo (0,06 ppm) en ríos de la provincia de Azuay en Ecuador, son superiores a los permitidos por las normas locales permisibles. Los investigadores descubrieron que los niveles de plomo estaban por encima de los límites en el 56% y los niveles de arsénico estaban por encima de los límites en el 78% de las muestras analizadas.

Villagómez et al. (2019), cuantificó la presencia elementos metálicos pesados en la región del río Pastaza de la selva amazónica en Ecuador. Se analizaron las cantidades de metales pesados como Pb, Cd y As. Resultaron ser más altas en el agua de la cuenca que lo permitido por las regulaciones nacionales e internacionales. Según los investigadores, se concluyó la existencia de estos elementos pesados en el agua del lago es una amenaza para la población.

Según el estudio de Zambrano et al. (2018) en la cual se examinó la presencia de elementos metálicos de gran peso en el río Guayas, el río más importante de Ecuador. Las concentraciones de Pb y Cd en el río Guayas fueron descubiertas por los autores por encima de lo permitido.

Además, los autores descubrieron una conexión entre la presencia de estos metales pesados y la actividad portuaria e industrial local.

Según el estudio de Zaldumbide et al. (2017), En la región andina de Ecuador, la minería es una causa significativa de contaminación de metales pesados. Los autores encontraron que los elementos metálicos de alta densidad, como el mercurio y el plomo, se introdujeron en los ríos y las corrientes de la región de Zaruma-Portovelo por la minería artesanal de oro y plata.

En otro estudio, Moscoso et al. (2016) se analizó la existencia de elementos metálicos de alta densidad en el río Babahoyo en la costa ecuatoriana. Los investigadores descubrieron que la actividad industrial y agrícola de la región estaba contaminando el río. Los investigadores concluyeron que están presentes el plomo y el cadmio.

Según el estudio de Pazmiño et al. (2018) en la Provincia de Pichincha se realizó un estudio para determinar metales en los sedimentos de seis ríos. Fueron recolectadas muestras de agua y sedimentos en 18 ríos distribuidos homogéneamente. La mayoría de los metales encontrados en las muestras excedieron los límites permisibles, que pueden ser más altos debido a los materiales. Sin embargo, la presencia de Zn y Pb puede estar relacionada con actividades humanas como la agricultura o la industria.

En otro estudio, Awuah et al. (2020) se evaluó la presencia de elementos metálicos pesados en el río Densu de Ghana. Los autores descubrieron que los metales pesados plomo, cadmio y arsénico estaban presentes en el río. [OBJ]

Las personas que dependen del río para actividades diarias como la pesca y la agricultura dan la posibilidad de que experimenten problemas de salud debido a la existencia de estos metales en el agua.



En un estudio realizado por Llobet-Brossa et al. (2017) se encontraron concentraciones de arsénico, plomo y mercurio en el agua superiores a las permitidas por la normatividad nacional e internacional en la microcuenca del río Magdalena en Colombia. Según los investigadores, la minería local ha sido identificada como la principal fuente.

En otro estudio, Gómez et al. (2018) se realizó un análisis de la existencia de elementos metálicos de alta densidad en el pequeño cuerpo de agua del río Chicamocha en Colombia. Se encontraron arsénico y plomo en el agua. Según los autores, resultaron ser superiores a las permitidas por las normas nacionales e internacionales. Según los investigadores, las actividades mineras y agrícolas han sido identificadas como fuentes de contaminación prioritaria.

La mayoría de las partículas microplásticas son consideradas no biodegradables y pueden durar más de un siglo. Uno de los cambios antropogénicos más generalizados en la superficie de nuestro planeta es la contaminación por microplásticos, que afecta a casi todos los entornos y tiene un impacto duradero en la salud del planeta.

A diferencia de los metales pesados, los microplásticos tienen un impacto negativo significativo en muchos ecosistemas, pero la investigación sobre la contaminación de los ríos es escasa. Por ello, la investigación sobre las fuentes de agua se ha utilizado como antecedente del tema, que es de gran interés. A continuación, se enumeran algunos de ellos.

En un estudio titulado “Determinación de microplásticos en precipitaciones urbanas de la Provincia de Cotopaxi”, Jiménez (2021) utilizó la técnica analítica actualmente utilizada de Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) para recolectar 14 muestras de 7 puntos análisis. Como resultado del análisis cuantitativo y cualitativo, los hallazgos del estudio demostraron la presencia de polietileno y polipropileno.

Se realizó una investigación utilizando 83 muestras recolectadas de diversas plantas potabilizadoras para el estudio de Mogrovejo y Sarango (2021) donde se encontró presencia de 24 partículas de microplásticos/ Litro de agua, en su mayoría polímeros de tipo PET. Otro estudio realizado por la Academia Mexicana de Ciencias (2022), a través del cual se logró identificación de microplásticos utilizando un microscopio de campo oscuro, a través de método analítico conocido como Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), como resultado, las muestras contenían la mayor cantidad de tereftalato de polietileno, o PET, con un 72,09%, seguido de poliamida 6 (20,93 %), polietileno-polipropileno (4,65 %) y polietileno (%). De las 83 muestras analizadas, se descubrió evidencia de microplásticos en 43 de ellas, lo que indica una contaminación significativa por varios plásticos.

En un estudio realizado por Calvo (2020), se encontraron partículas de MPs de tamaños desde 1  $\mu\text{m}$  a 5 mm, a través de identificación visual con microscopios electrónicos. La mayoría de las investigaciones científicas han reportado la presencia de MP con un tamaño menor a 5 mm.

Así también, Gonzales (2019) estudió los MPs<sup>1</sup> en la cuenca del río Besós y Tordera, Europa, encontrando concentraciones de  $2.78 \pm$  partículas/Litro en la primera cuenca y  $1.6 \pm$  partículas/Litro en la consecuyente y tamaños de Mps de 50 – 100  $\mu\text{m}$  en ambas cuencas.

En un estudio realizado por Torres (2021) menciona que los microplásticos son sustancias contaminantes de reciente aparición en la cadena de producción de alimentos, que incluye diferentes ecosistemas del planeta como los fluviales, terrestres y atmosféricos, según el análisis de este estudio a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica. El estudio revisado anteriormente demuestra que hay más microplásticos en el ecosistema fluvial que en las fuentes de agua dulce.

<sup>1</sup>Microplásticos

---

Un estudio titulado "Microplásticos en la biota de los ríos andinos" fue realizado Sáenz (2020). El objetivo de este estudio fue indagar si los macroinvertebrados de los ríos andinos contenían microplásticos. El análisis se realizó en 17 sitios que compartían los mismos grupos taxonómicos, más o menos, en común. Según los hallazgos, dependiendo de sus hábitos de alimentación, los organismos bentónicos que viven en los ríos estudiados ingirieron microplásticos en mayor o menor medida en todos los sitios muestreados.

En un estudio realizado por Espinosa et al. (2019) se descubrió una cantidad importante de microplásticos en el agua de la microcuenca del río Machángara. Las partículas más prevalentes, según los autores, fueron el PET alta densidad y el poliestireno expandido. Además, los autores señalaron la posibilidad de que el vertido de residuos plásticos sea la causa de los microplásticos que están presentes en las aguas de la microcuenca del río Machángara.

En otro estudio, Verónica et al. (2021) evaluaron la existencia de microplásticos en la microcuenca del río Santa Ana en Ecuador. Los microplásticos más frecuentes, según los autores, fueron las fibras de poliéster y polipropileno, y el agua contenía más microplásticos que los sedimentos. Los autores también enfatizaron que la microcuenca del río Santa Ana puede contener microplásticos como resultado del uso de plásticos en actividades relacionadas con el turismo.

Muestras de arena recolectadas en playas de Camaná en enero y febrero de 2019 fueron analizadas como parte del estudio "Realización de un estudio para detectar la presencia de microplásticos en nueve playas ubicadas en Camaná y junto con la implementación de un programa de concientización", realizado por Vaina y Benavente (2021) se examinaron playas de más de 100 metros en 9 áreas diferentes.

Se encontró una mayor concentración de (PET), (PS) y (PVC) en los resultados de los espectros.

Según el estudio de Chalén et al. (2020), se ha descubierto que la microcuenca del río Yaguachi en Ecuador contiene microplásticos. Los autores descubrieron una cantidad significativa de microplásticos y señalaron que el PET y el PP eran las partículas más frecuentes. Los autores también enfatizaron que el manejo inadecuado de los desechos plásticos puede ser el factor principal la exposición de microplásticos en la microcuenca del río Yaguachi.

En el estudio de Narváez y Tipán (2022) se encontraron microplásticos en tres tramos del río Pumacunhi. La fibra fue el tipo de microplástico en ambas muestras. Además, se observó que solo 5 de los 10 parámetros fisicoquímicos examinados (metales pesados, DBO, CE, Oxígeno Disuelto y SDT), excedieron los límites superiores permitidos por las normas nacionales e internacionales. Debido a que no hay LMP para riego, es importante señalar que el parámetro de turbidez no se tuvo en cuenta al analizar los resultados.

Vidal et al. (2021) analizaron 37 muestras de agua superficial en estuario interno y externo, Colombia, en un periodo de 4 años que abarcó épocas lluviosas, secas y de transición, encontrando un total de 62,2 % de fragmentos y 37,4 % de fibras, respectivamente. Logrando identificar mayor presencia de fibras en el estuario interno y predominio de los fragmentos en el estuario externo. Destacando la presencia de MPs de color negro en un 61%, azul 30%, 9% entre color ojo y transparentes. Asimismo, la menor concentración de microplásticos se presentaron en las épocas secas del año, concluyendo que la cantidad de MP, aumentó significativamente un 28% anualmente.

En el estudio propuesto por Drabinski et al. (2023) en donde se analizaron muestras compuestas de agua obtenidas de 15 sitios de muestreo a lo largo del río Macacu, Brasil, identificando que el 100% de muestras contienen MPs con rango promedio de 76 a 4007 partículas/ Litro, encontrando la menor concentración en el punto 1 de muestreo con un total de 88 partículas/ Litro y la más alta registrándose en el punto 11, con 4007 partículas/ Litro, con predominio de fibras y fragmentos. Concluyendo que las partículas de MPs en agua superficial aumenta con distancia en dirección corriente abajo, siendo las actividades antropogénicas, la causa más representativa de la contaminación por partículas microplásticas.

Cabrera et al. (2022), analizaron muestras de agua en la parte superior del río Guanajuato, en tres puntos de muestreo: cuenca baja (a menos de 2 000 m.s.n.m.), cuenca mediana (rango de 2 000 a 2200 m.s.n.m.) y cuenca alta (a más de 22001 m.s.n.m.), encontrando un total de 1370 micropartículas de plásticos, destacando la mayor concentración de en la cuenca media con un total de 624 partículas/ Litro, seguida por la cuenca alta con 470 partículas/ Litro y finalmente la cuenca baja con 276 partículas/ Litro: concluyendo que la cuenca del río presenta una contaminación significativa de microplásticos.

En un estudio similar realizado por Naspud y Zhiñin (2022), se caracterizaron 24 muestras de agua de ríos en las localidades de Chordeleg, Gualaceo y Guachalapa. Mediante el uso de Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), se evaluaron los espectros obtenidos para identificar los polímeros presentes en las muestras. Los hallazgos de esta investigación revelaron que el 52% de las muestras contenían partículas plásticas con mayor incidencia de PET, seguido de Polietileno y Poliamida. Estos hallazgos son consistentes con la presencia de diferentes tipos de polímeros.

En el estudio realizado por Vivar y Orellana (2022), se analizaron un total de 99 muestras de agua recolectadas en diferentes puntos del sistema de potabilización de Tomebamba, Cuenca. En todas las muestras se encontró la existencia de microplásticos. Los tamaños de los microplásticos identificados en las muestras variaron, con tamaños de fibras que oscilaron entre 6.31  $\mu\text{m}$  y 4966.77  $\mu\text{m}$ , y fragmentos con tamaños que iban desde 6.95  $\mu\text{m}$  hasta 243.87  $\mu\text{m}$ . Estos resultados corroboran los parámetros evaluados en cuanto a los tamaños de los fragmentos y fibras. Así también, Gonzales (2019) estudió la presencia de MPs en la cuenca del río Besós y Tordera, Europa, encontrando concentraciones de  $2.78 \pm$  partículas/Litro en la primera cuenca y  $1.6 \pm$  partículas/Litro en la consecuente y tamaños de fragmentos entre rangos 50 – 100  $\mu\text{m}$  y fibras  $< 5$  mm en ambas cuencas.

Suaría et al. (2016) investigaron la abundancia de desechos marinos plásticos en las aguas superficiales del Mediterráneo utilizando 74 muestras recogidas con una red de Neuston (200  $\mu\text{m}$ ). Se encontraron microplásticos con una abundancia media de 1,65 partículas/ $\text{m}^2$  con una abundancia extrapolada de  $3,1 \times 10^{12}$  partículas microplásticas en todo el Mediterráneo. El 93,3 % de estas partículas se clasificaron como fragmentos y el resto constituido por gránulos, películas y espumas. Además, se informó que el 26 % de las partículas contadas eran menores de 300  $\mu\text{m}$  y el 51 % menores de 500  $\mu\text{m}$ . También se identificaron 16 tipos de polímeros mediante espectroscopia FT-IR, siendo predominante el polietileno (PE).

Mani et al. (2015) informaron sobre la abundancia y composición de microplásticos en la superficie del río Rin, uno de los ríos europeos más grandes. Usando 31 muestras de 11 ubicaciones en un tramo de 820 km, encontraron microplásticos presentes en todas las muestras con concentraciones variables a lo largo del río que reflejan varias fuentes y sumideros, como afluentes y presas.

La abundancia media fue de 892.777 partículas/km<sup>2</sup>. Las esférulas opacas constituyeron el 45,2 % de los microplásticos por categoría seguido de fragmentos con 37,5 %, esférulas transparentes con 13,2 %, fibras 2,5 % y otras con 1,1 %. Las esférulas son productos de la industria del plástico (Fendall et al., 2009). El tamaño de partícula varía de 300 µm a 1000 µm con poliestireno (29,7 %) como polímero dominante, seguido por polipropileno (16,9 %), acrilato (9,3 %), poliéster (5,1 %) y cloruro de polivinilo (1,7 %). Además, el 86,4% de todas las partículas analizadas fueron identificados como uno de los polímeros más producidos en todo el mundo.

Fauré et al. (2015) también realizaron un estudio destinado a ampliar el conjunto de datos de contaminación por MPs en las aguas superficiales de Suiza para comprender mejor su distribución, comportamiento e impactos utilizando 39 muestras de superficie recolectadas con una red de malla (300 µm). Las muestras se analizaron visualmente con un microscopio estereoscópico y se MPs en todas las muestras, en concentraciones que oscilaban entre 11 000 partículas/km<sup>2</sup> y 220 000 partículas/km<sup>2</sup>. Las partículas fueron extraídas por tamaño y clasificadas en categorías según su apariencia y características. Predominaron los fragmentos y gránulos representando una pequeña fracción. La composición química de las partículas analizadas mediante espectroscopia FT-IR ATR muestra un 62 % como polietileno (utilizado para embalaje), un 15 % como polipropileno (a partir de fragmentos) y un 12 % como poliestireno (utilizado en la construcción como material aislante). Este estudio confirma aún más la ubicuidad y diversidad de los microplásticos en el ecosistema de agua dulce.



Masón et al. (2018) también realizaron una investigación sobre la contaminación por polímeros sintéticos en agua embotellada utilizando el método de rojo de Nilo para identificación de partículas. Se utilizaron 260 botellas de agua de once marcas de origen mundial compradas en 19 ubicaciones en 9 países y determinaron que todas las botellas de agua de las 11 marcas contienen microplástico, en un promedio general de microplásticos de 32 partículas/ litro, con presencia de fibras (68%) y fragmentos (32%). Finalmente, encontraron una alta presencia de Polietileno en todas las muestras; polímero relacionado con la fabricación de las botellas plásticas.

Es necesario monitorear y controlar cuidadosamente los metales pesados y los microplásticos, ya que se ha demostrado que tienen efectos negativos. Si bien existen muchos métodos analíticos y experimentales para la determinación de estos contaminantes, aún no se ha desarrollado un método estandarizado para determinar su presencia en la microcuenca del río Gualaceño. Es necesario llevar a cabo una mayor investigación en este campo para desarrollar un método que permita una medición precisa y comparativa de metales pesados y microplásticos a lo largo del tiempo. Por ello, es muy importante continuar investigando la presencia de metales pesados y microplásticos en la microcuenca del río Gualaceño con el fin de establecer procedimientos de control y seguimiento que reduzcan sus efectos nocivos. La aplicación de un método estándar para cuantificar estos contaminantes en la región permitiría la recopilación de datos precisos y comparables, lo que a su vez facilitaría una decisión informada y adecuada para el manejo y calidad del recurso hídrico.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.1.1. Polución**

Es la contaminación que generalmente se compone de sustancias sintéticas o hechas por el hombre (como el plástico, por ejemplo), aunque incluso las sustancias naturales como los sedimentos, los nutrientes y el dióxido de carbono pueden convertirse en contaminantes cuando exceden un nivel particular. Sin embargo, si las sustancias naturales exceden los niveles saludables, es muy probable que sea el resultado de actividades humanas.

### **2.1.2. Polietileno**

Es un tipo de plástico que se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones debido a sus favorables propiedades fisicoquímicas. Está clasificado como un polímero termoplástico, lo que significa que puede moldearse una y otra vez sin perder sus propiedades inherentes. El polietileno se obtiene por polimerización del etileno. Estas cadenas tienen una estructura lineal o ramificada que afecta a sus propiedades finales.

### **2.1.3. Polietileno de alta densidad**

Es un material plástico que se destaca por su excelente durabilidad y densidad. Se utiliza en muchas aplicaciones industriales y de consumo debido a su durabilidad y resistencia a productos químicos y productos químicos agresivos. Sin embargo, su baja degradabilidad presenta problemas ambientales en cuanto a la acumulación de residuos plásticos.

### **2.1.4. Tereftalato de polietileno**

Es conocido por su alta transparencia, resistencia al impacto y barrera a la humedad y los gases.

El PET es ampliamente reciclable y se usa en programas de reciclaje para producir nuevos productos de plástico. Sin embargo, su manejo adecuado es crucial debido a la acumulación de residuos y la lenta degradación en el medio ambiente.

### **2.1.5. Polipropileno**

El polipropileno es un plástico muy utilizado debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad. Se caracteriza por una alta resistencia a los golpes, a la humedad ya la mayoría de los productos químicos. A menudo se usa en empaques, textiles, muebles, autopartes y muchos productos de consumo. Sin embargo, su manejo adecuado es importante debido a los problemas ambientales asociados con la acumulación de desechos y la lenta degradación en el medio ambiente.

### **2.1.6. Microplásticos secundarios**

Son pequeñas partículas que se producen por la intemperie, la erosión mecánica o el desgaste de los productos plásticos existentes. Los microplásticos secundarios se encuentran en ambientes acuáticos y terrestres y son motivo de preocupación porque pueden ser consumidos por organismos vivos y contaminar los ecosistemas. Su estudio y manejo adecuado son necesarios para comprender y reducir los efectos ambientales y los riesgos potenciales para la salud asociados con su ocurrencia.

### **2.1.7. Microplásticos primarios**

Son pequeñas partículas de plástico que se producen y utilizan directamente en productos y aplicaciones industriales. Estas partículas, que pueden tener diferentes formas y tamaños, se agregan intencionalmente a productos como cosméticos, pinturas y textiles.

Los microplásticos primarios pueden ingresar al medio ambiente durante el uso y la eliminación de estos productos y son motivo de preocupación porque pueden contaminar los ecosistemas acuáticos y terrestres. La investigación y la regulación adecuadas son fundamentales para resolver este problema y minimizar los impactos ambientales asociados con los microplásticos primarios.

### **2.1.8. Fragmentos**

Los fragmentos son aquellos que se crean cuando se rompen o fragmentan elementos de plástico más grandes. Estos fragmentos pueden tener diferentes formas, como fibras, partículas esféricas o fragmentos irregulares.

#### **2.1.9. Fibras plásticas**

Las fibras plásticas son partículas de microplásticos, liberadas durante la fragmentación de plásticos grandes, lavado de textiles sintéticos y también se encuentran en productos como alfombras, telas no tejidas y productos de higiene personal.

#### **2.1.10. Pellets**

Pequeñas piezas cilíndricas de plástico o gránulos. Los gránulos generalmente se fabrican mediante métodos de extrusión y granulación y pueden fabricarse a partir de diferentes tipos de plásticos, como polietileno, polipropileno o poliestireno. Estos gránulos se transportan y utilizan en la industria para fabricar productos plásticos como envases, películas, botellas, juguetes y muchos otros.

### **2.1.11. Rojo de Nilo**

Es un colorante sintético muy utilizado en diversas industrias, como la textil, la cosmética y la farmacéutica. También se conoce como Nile Red B o Congo Red. Su nombre deriva de su capacidad para teñir los tejidos de color rojo oscuro o púrpura. El análisis y seguimiento del Rojo es fundamental para evaluar su presencia e implementar medidas de mitigación cuando se detectan concentraciones. Además, es importante investigar alternativas más seguras y sustentables para reemplazar o reducir este colorante en diversas industrias, promoviendo prácticas más amigables con el medio ambiente.

### **2.1.12. Partículas Suspendidas Totales**

Supone una combinación de partículas que se emiten directamente al aire, hollín de los motores diésel, polvo de carreteras, polvo agrícola y partículas resultantes de los procesos de producción. Desafortunadamente, el tamaño de la muestra cambia con la velocidad y dirección del viento, y su diámetro aerodinámico varía entre 20 y 50  $\mu\text{m}$  (micras). En condiciones de viento, la masa de tierra estaba dominada por partículas de suelo grandes, arrastradas por el viento y relativamente no tóxicas (Fang et al., 2003).

### **2.1.13. Trazas**

El término “elemento traza” no tiene una definición precisa en las ciencias de la tierra, porque la concentración de un elemento en una fase determinada puede ser tan baja que se considere un elemento traza, mientras que el mismo elemento puede constituir una parte principal de otra fase. Aluminio (Al), por ejemplo, es un oligoelemento en el agua y la vegetación, pero un componente principal de la mayoría de las rocas y suelos comunes. Por el contrario, el Fe es un elemento traza en el cuarzo y es un elemento principal en los minerales máficos.

La definición más popular de oligoelementos en geoquímica es que son elementos químicos con concentraciones inferiores a 0,1 en la corteza terrestre, también conocidos como microelementos. por masa, %.

#### **2.1.14. Métodos analíticos**

Los métodos analíticos en biotecnología son técnicas utilizadas para el análisis y caracterización de muestras biológicas, como proteínas, ácidos nucleicos, células y otros biomateriales. Estas técnicas se utilizan para recopilar datos sobre las propiedades estructurales, funcionales y cuantitativas de los componentes biológicos.

#### **2.1.15. Separación de fases**

La separación de fases es un proceso físico en el que una mezcla homogénea se divide en dos o más fases distintas. Estas fases pueden ser líquido-líquido, sólido-líquido o gas-líquido y se separan por métodos como decantación, centrifugación, filtración, destilación, etc.

#### **2.1.16. Fluorescencia**

La fluorescencia es el fenómeno en el que una sustancia u objeto absorbe luz cuando se expone a una fuente de energía y emite luz visible al cambiar de un nivel de energía alto a otro inferior. Este fenómeno resulta de las propiedades estructurales de la materia a nivel molecular o atómico. El uso de la flora está muy extendido en varios campos. Es ampliamente utilizado en investigación científica y aplicaciones de laboratorio, en muchas técnicas como sustancias fluorescentes, etiquetado molecular, imágenes de células, análisis de proteínas. También se utiliza con fines decorativos y de iluminación en la ciencia de los materiales, la medicina, las operaciones de seguridad y la vida cotidiana.

### **2.1.17. Luz de Malla**

Es un sistema óptico donde la luz se dispersa en varias direcciones. La luz neta generalmente se crea utilizando elementos ópticos como una rejilla de difracción o un holograma.

### **2.1.18. Curva de Calibración**

Es una representación visual que establece la relación entre una concentración conocida de una sustancia y una señal o respuesta medida, como la intensidad de absorción o una señal eléctrica. Para construir la respectiva curva, se preparan diversas soluciones con concentraciones conocidas de la sustancia de interés y se mide la correspondiente señal para cada una. Luego se crea una curva que se asemeja mucho a los datos experimentales, lo que permite convertir fácilmente la señal medida de dicha curva para estimar la abundancia relativa de cada elemento en una muestra de origen desconocido. Es una herramienta esencial en el análisis químico y bioquímico, empleada en diversas aplicaciones como análisis clínicos, control de calidad e investigación ambiental.

### **2.1.19. Solución Patrón**

Una solución estándar es una solución química que contiene una concentración conocida y precisa de una sustancia específica. Se utiliza como punto de referencia al calibrar indicadores y realizar análisis cuantitativos. Al crear una solución de referencia, se diluye o prepara una solución madre de alta concentración conocida, a partir de la cual se pueden preparar varias soluciones de referencia de diferentes concentraciones. Estas soluciones estándar se utilizan para crear una curva de calibración o realizar mediciones comparativas con una muestra desconocida. La solución estándar debe ser muy pura y estable y debe almacenarse adecuadamente para mantener su exactitud y precisión.

## **2.3. Fundamentación Teórica**

### **2.3.1. Metales pesados**

El término es indeterminado y hace referencia a sustancias que tienen números atómicos superiores a 20 y características metálicas (como ductilidad, conductividad, densidad, estabilidad catiónica, selectividad de ligando, etc.). Las sustancias químicas que son peligrosas y tienen una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup> se denominan metales pesados. Estos elementos generalmente se encuentran en cantidades mínimas en el medio ambiente. En concentraciones normales, algunos son útiles o incluso esenciales para las plantas, pero todos se vuelven tóxicos por encima de cierto umbral. Se sabe que los elementos traza metálicos son tóxicos, mientras que algunos son oligoelementos (Cu, Zn, Fe, Co), otros son metaloides (Se, As) o no son pesados (Be, Al), por lo que se denominan más comúnmente como "elementos traza metálicos" (ETM) que "metales pesados" (Londoño et al., 2016).

#### **2.3.1.1. Generalidades de los Metales Pesados**

Estos elementos manifiestan una alta densidad y pueden ser tóxicos para los organismos vivos en concentraciones elevadas. En la biotecnología, los metales pesados son de preocupación debido a su impacto en las actividades microbianas y la producción de biomasa. La exposición a metales pesados puede causar efectos nocivos. Por lo tanto, es importante considerar la existencia de metales pesados y minimizar la exposición en la producción. Ciertos metales, tales como: Cu, Zn, Co, Fe y Mn, son esenciales para el metabolismo celular, actúan como cofactores. Algunos otros como Cd, Pb, Hg (mercurio) y Ag (plata) son tóxicos para los organismos vivos, inhiben la actividad enzimática. A diferencia de los compuestos orgánicos contaminantes el cadmio, el plomo, el cobre, el mercurio y el zinc no se pueden biodegradar y, por lo tanto, persisten en el entorno (Wade et al., 1993).



### **2.3.1.2. Propiedades Fisicoquímicas de los Metales y Metaloides**

Los metales son elementos químicos sólidos, brillantes, maleables y dúctiles, que tienen alta conductividad eléctrica y térmica. También tienen una alta densidad y punto de fusión, y pueden formar aleaciones con otros metales. Los metales tienden a perder electrones en reacciones químicas y, por lo tanto, tienen un carácter iónico positivo. Estos elementos tienen una apariencia metálica, pero también tienen algunas propiedades no metálicas, como baja conductividad eléctrica y térmica. Los metaloides también pueden formar compuestos iónicos y covalentes.

### **2.3.1.3. Clasificación de los metales pesados**

Son clasificados de acuerdo con dos criterios primordiales basados en su composición y comportamiento químico:

Los metales pesados se encuentran en los grupos 3 a 12, también conocidos como los grupos de transición. En particular, los elementos del grupo 12, que incluyen el zinc, el cadmio y el mercurio, a menudo se consideran como los metales pesados más importantes debido a sus propiedades tóxicas y su capacidad para bioacumularse en el medio ambiente.

Estos compuestos xenobióticos se pueden clasificar en términos de su comportamiento ácido en tres grupos principales: metales fuertemente ácidos, metales moderadamente ácidos y metales débilmente ácidos.

- Los metales fuertemente ácidos incluyen elementos como el aluminio, el hierro, el plomo y el zinc, que son capaces de disolverse fácilmente en ácido.
- Los metales moderadamente ácidos incluyen elementos como el cadmio, el cobre y el níquel, que tienen una afinidad moderada por los iones hidrógeno y, por lo tanto, requieren ácidos más fuertes para disolverse.

- Los metales débilmente ácidos incluyen elementos como el cromo y el mercurio, que tienen una baja afinidad por los iones hidrógeno y, por lo tanto, son menos solubles en ácido.

#### 2.3.1.4. Origen de Emisión de los Metales Pesados

El origen de emisión de estas sustancias persistentes puede ser natural o antropogénico. En ciertas ocasiones son expuestos al medio ambiente como consecuencia de los procesos geológicos, como la actividad volcánica o la erosión del suelo. Sin embargo, la mayoría de la contaminación por estos compuestos xenobióticos se debe a la actividad del hombre. Los procesos industriales, la minería, la agricultura y el transporte son algunos ejemplos de actividades humanas que producen emisiones de metales pesados al medio ambiente. Estas emisiones pueden ser liberadas directamente al entorno, y pueden ser conducidas a extensas distancias por lo que puede generar graves consecuencias.

- **Actividades mineras:** La minería puede liberar ciertas de estas sustancias persistentes, como plomo, mercurio y cadmio, en el medio ambiente.
- **Industrias:** Las industrias, como la producción de baterías, productos electrónicos y la producción de acero, también son consideradas una fuente prioritaria.
- **Agricultura:** La aplicación de fertilizantes y pesticidas, así como el uso de lodos de depuradora como fertilizante, también puede ser consideradas una fuente de emisión.
- **Emisiones de vehículos:** Los vehículos y otros medios de transporte también pueden liberar metales pesados en la atmósfera.

### **2.3.1.5. Contaminación de metales pesados**

La presencia de estas sustancias que son consideradas tóxicos en el medio ambiente a niveles que sobrepasan el respectivo umbral. Ejemplos de metales pesados que pueden causar contaminación incluyen plomo, mercurio, arsénico, cadmio, cromo y níquel. Estos metales pueden ser liberados en el medio ambiente a través de actividades antropogénicas, la agricultura, el transporte entre otras actividades. La eliminación y prevención de la contaminación por estas sustancias persistentes es un desafío importante y se requiere de medidas adecuadas para gestionar y reducir estas emisiones. El exceso de contaminantes depositados en el suelo puede transformarse y transportarse desde las plantas a medida que pasan a los animales y al ser humano. Se ha visto que la contaminación de estas sustancias genera un daño a las plantas y altera las funciones metabólicas de los órganos vitales (Rama Jyothi, 2021).

### **2.3.1.6. Toxicidad de los metales pesados**

El efecto toxico de estos compuestos xenobióticos está condicionada por diversos factores, como la cantidad administrada, el tiempo de exposición y la estructura química del metal. La exposición a ciertos niveles que son considerados altos con respecto a estas sustancias, puede causar daños en el sistema nervioso, problemas de desarrollo en los niños, cáncer, problemas renales, problemas respiratorios y otros efectos adversos en la salud.

## **2.3.2. Efectos al Medio Ambiente por contaminación de Metales Pesados**

### **2.3.2.1. Efectos sobre el agua**

Los metales pesados, incluso en bajas concentraciones en el agua, pueden causar diversas enfermedades e incluso la muerte. Tienen efectos tóxicos y cancerígenos, así como tendencia a acumularse en los organismos vivos (bioacumulación).

La bioacumulación es la etapa en la que una concentración de una sustancia química se incrementa y se biomagnifica. El pH del agua puede ser el factor más importante. Estas sustancias son más tóxicas en aguas destiladas y blandas que en aguas duras y básicas.

#### **2.3.2.2. Efectos en el aire**

Los metales pesados pueden ser liberados a la atmósfera por procesos industriales, como la minería, entre otras fuentes antropogénicas. Estos metales pesados pueden transportarse por grandes distancias por el viento y precipitar en lugares distantes de donde fueron emitidos. La inhalación de partículas de metales pesados puede causar daño a los pulmones como a otros órganos y puede tener efectos perjudiciales para el ser humano como para la biodiversidad en general.

#### **2.3.2.3. Efectos en el suelo**

Principalmente aumentan el efecto de toxicidad para las estructuras vivas al formar estructuras muy complejas en el suelo. Así, los suelos se vuelven improductivos y sus propiedades cambian. El arsénico, mercurio, zinc, cadmio, cromo, plomo y níquel son considerados los metales pesados característicos presentes en el suelo.

Gracias a la capacidad amortiguadora del suelo, se puede reducir el estado de bioacumulación. Además, textura, carbono orgánico, contenido de agua, temperatura, fósforo, tipo de arcilla, carbonato y bicarbonatos son considerados unos de tantos factores que pueden afectar el movimiento de estos elementos en el suelo. Además, la materia orgánica presente en altas cantidades en el suelo causa una mayor acumulación de estos metales y a su vez toxicidad para las plantas debido a la alta capacidad de intercambio catiónico.

#### **2.3.2.4. Efectos sobre la salud humana**

Principalmente ingresan al cuerpo humano a través de la cadena alimentaria o el contacto con la piel. Algunos de los metales pesados son necesarios para las actividades metabólicas del cuerpo humano, pero en altas concentraciones pueden causar efectos perjudiciales e incluso provocar la muerte. Esto se debe a que los metales pesados se unen al metabolismo de los lípidos o a las estructuras de las proteínas. El arsénico puede causar agrandamiento del hígado, anemia, manchas marrones en la piel entre otras afecciones. Se ha dicho que altas cantidades de arsénico causan cáncer de los huesos y del sistema respiratorio. El boro se retiene más en el tejido óseo que en estructuras como el hígado, los riñones y los músculos. Con el efecto venenoso del boro, náuseas, dolor de cabeza, diarrea, espasmos musculares, se producen lesiones en la piel, irregularidades en el mecanismo digestivo y las glándulas. Altas concentraciones de mercurio generan daño renal, daño al sistema nervioso, abortos espontáneos en el embarazo y anomalías en el bebé. El envenenamiento por mercurio causa gingivitis, temblores y trastornos psicológicos. El zinc, que está por encima de los 3 mg/l en el agua, causa muchos problemas de salud, como la ulceración, edema pulmonar, mucosas y vías respiratorias. causa irritación en las vías.

Además, en un estudio realizado en animales de experimentación para determinar el efecto del zinc, se encontró que el zinc tiene un efecto cancerígeno. El hierro se utiliza durante la realización de algunas actividades metabólicas en el organismo. En caso de deficiencia, se observa dificultad para respirar, debilidad, fatiga y anemia. Los altos niveles de hierro causan insuficiencia hepática, mareos y malestar estomacal. El cadmio es una fuente importante de osteoporosis y enfermedades dentales. Los estudios han demostrado que el envenenamiento crónico por cadmio causa cáncer de pulmón y próstata.

### **2.3.3. Métodos de Detección de Metales pesados**

Existen varios métodos para detectar metales pesados, desde técnicas químicas hasta técnicas instrumentales. Se utilizan ampliamente en laboratorios de investigación, organismos reguladores y la industria para evaluar la calidad del agua, los alimentos, los productos químicos y otros materiales. La detección temprana y precisa de metales pesados es esencial para prevenir la exposición humana y minimizar los efectos ambientales negativos.

#### **2.3.3.1. Espectrofotometría**

Se utiliza una técnica analítica llamada espectrofotometría para medir la velocidad a la que una muestra absorbe o emite luz. Lo que facilita la identificación y el cálculo de las cantidades de estas sustancias. Debido a su alta sensibilidad y precisión, así como su capacidad para detectar y cuantificar cantidades muy pequeñas de sustancias en una muestra, es una técnica muy útil y adaptable.

### **2.3.4. Métodos Espectrofotométricos de Análisis**

Los métodos analíticos espectroscópicos son técnicas utilizadas en química y ciencias afines para identificar y cuantificar compuestos químicos en una muestra incluidos metales pesados y microplásticos, en una muestra.

#### **2.3.4.1. Espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible**

La espectroscopia UV-Vis es el método analítico más antiguo y utilizado en los laboratorios. En particular, permite aplicaciones cuantitativas por aplicación de la ley de Beer-Lambert. Sin embargo, proporciona poca información estructural. Una solución es coloreada si absorbe parte de la radiación de luz blanca. El color percibido es el color complementario del color absorbido. Ejemplo: si una solución absorbe verde, se percibe como magenta. Cualquier solución coloreada absorbe algo de radiación de luz blanca. Usando un espectrofotómetro, es posible medir esta absorbancia. Este último es un número sin unidades: si la absorbancia es cero, la radiación no se absorbe; cuanto mayor es la absorbancia, más radiación se absorbe.

#### **2.3.4.2. Espectrofotometría de emisión atómica de fotometría de llama**

La química y la biotecnología utilizan una técnica analítica conocida como atomic emission spectrophotometry or flame photometry (FAAS) para detectar elementos metálicos en muestras líquidas. El principio básico de la tecnología FAAS se centra en vaporizar una muestra líquida en una llama, normalmente acetileno, lo que hace que los átomos metálicos de dicha muestra aumenten de energía. La luz emitida por los átomos excitados se mide mediante un espectrómetro de emisión atómica, que distingue entre diferentes longitudes lo cual permite identificar y medir el elemento metálico en la muestra. La concentración del elemento en la muestra tiene una relación directa con el brillo de la luz que producen los átomos emisores.

FAAS es un método de análisis extremadamente sensible y preciso que puede encontrar elementos metálicos en muestras líquidas incluso en concentraciones muy bajas. Sin embargo, tiene algunas limitaciones, como el requisito de una preparación meticulosa de la muestra antes del análisis y la interferencia de otros componentes de la muestra.

### **2.3.5. Métodos Espectroscópicos de Análisis de metales pesados**

Para detectar y estudiar sustancias peligrosas como metales pesados y microplásticos en muestras ambientales, se utilizan ampliamente varios métodos espectroscópicos. Estos métodos permiten detectar y medir con precisión la presencia de dichos contaminantes.

Los siguientes son algunos de los métodos espectroscópicos comúnmente utilizados para analizar metales pesados y microplásticos.

#### **2.3.5.1. Espectroscopia**

Un método de análisis utilizado para investigar cómo interactúa la luz con la materia es la espectroscopia. La espectroscopia se utiliza en biotecnología para investigar la composición de muestras biológicas, la estructura y funcionamiento de moléculas biológicas. Además, tanto el desarrollo de nuevos medicamentos como el estudio de enfermedades utilizan la espectroscopia. En conclusión, la espectroscopia es una herramienta eficaz y de uso frecuente en biotecnología para examinar una amplia gama de fenómenos biológicos y químicos.

#### **2.3.5.2. Espectroscopia de emisión atómica**

Se basa en la premisa de que cuando las células son estimuladas por una fuente de energía, como plasma o llamas, producen una radiación electromagnética característica y única. La radiación atómica se puede dividir en un espectro de líneas de emisión, cada una de las cuales corresponde a un elemento diferente.



Esta técnica se utiliza para examinar la composición química de materiales, como muestras de agua, alimentos, minerales, metales y aleaciones, en una amplia gama de disciplinas. La identificación de elementos existentes en concentraciones extremadamente bajas es posible gracias a esta técnica altamente precisa y sensible. Además, dependiendo de los requisitos únicos de cada aplicación, se puede usar en una variedad de modos, que incluyen plasma acoplado inductivamente (ICP), llama y espectroscopia de arco eléctrico.

### **2.3.5.3. Espectroscopia de absorción atómica**

Los rayos UV y del campo visible constituyen la mayoría de los rayos electromagnéticos absorbidos. La diferencia está en el muestreo, la apariencia de los espectros, los dispositivos utilizados. Para analizar un elemento por espectroscopía de absorción atómica, ese elemento primero debe volverse neutral, luego vaporizarse y luego difundirse en el camino del haz electromagnético desde una fuente. Esto se logra rociando una solución que contiene el elemento en forma compuesta en una llama de alta temperatura en forma de niebla, o colocando la muestra (solución o sólido) que contiene el elemento en forma compuesta en una copa de muestra de carbón y haciéndola incandescente con un arco eléctrico. El rango de absorción atómica de un elemento cuando se excita contiene una serie de líneas resonantes en el estado fundamental. La línea de absorción más intensa, que se utiliza en la espectroscopia de absorción atómica, suele ser la transición entre el estado fundamental y un estado de mayor energía.

#### **2.3.5.4. Espectroscopia de fluorescencia atómica**

La presencia de elementos químicos particulares en una muestra puede determinarse y medirse mediante el método analítico conocido como espectroscopia de fluorescencia atómica (AFS). El proceso se basa en que la radiación electromagnética de una muestra es absorbida por los átomos de un elemento, seguida de la emisión de radiación fluorescente. La aplicación principal del AFS es la detección y cuantificación de As, Hg y Pb, en una variedad de muestras, que incluyen agua, suelo, alimentos y productos farmacéuticos. Para excitar los átomos de la muestra, el método suele utilizar una fuente de luz de alta energía, como un láser. Es un método altamente sensible y selectivo que ha ampliamente se ha utilizado en la industria para comprender cómo se absorben los metales y cómo se distribuyen por todo el cuerpo humano, así como para encontrar biomarcadores de enfermedades, también se emplea en la investigación biomédica.

#### **2.3.5.5. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier**

Un método eficaz para determinar el espectro de emisión, dispersión o absorción de un sólido, líquido o gas es la Fourier transform spectroscopy (FTS). Hace uso de la idea del espacio de Fourier, como su nombre indica. Si conceptualmente es menos intuitivo, ofrece dos importantes ventajas frente a los métodos dispersivos: la ventaja de Fellgett y Jacquinot. Estos permiten medir rápidamente espectros con excelente resolución y una buena relación señal-ruido. El principio de medición no restringe la aplicación de STF al infrarrojo, pero sus ventajas sobre los métodos dispersivos, como los espectrómetros de rejilla, son menos evidentes en longitudes de onda inferiores a  $\lambda = 1 \mu\text{m}$ . En general, el STF se usa ampliamente para el estudio de excitaciones de baja y media energía, como las excitaciones vibratorias y rotacionales.

### **2.3.6. Metales pesados más importantes**

Cualquier tipo de metal o metaloide puede ser considerado “contaminante” si está presente en lugares indeseables o en forma y concentración dañina para las personas o el medio ambiente (Matschullat, 2000). Los metales pesados y metaloides más comunes en el medio ambiente son el cromo (Cr), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y se consideran contaminantes importantes en aguas subterráneas, industriales y marinas (Hogan, 2012; Rahman et al., 2014). Estos metales pesados y metaloides son muy tóxicos para humanos y animales en altas concentraciones y no solo tienen efectos neurotóxicos y cancerígenos (Tokar et al., 2011).

#### **2.3.6.1. Plomo (Pb)**

El plomo es el primer metal en causar el daño más significativo al sistema ecológico a través de las actividades antropológicas. El plomo es el metal pesado más importante causante de la contaminación ambiental porque se emite a la atmósfera como metal o compuesto y en cualquier caso tiene propiedades tóxicas. El plomo ha sido un metal importante para los humanos durante varios milenios (Saygı Değer et al., 1995). El plomo orgánico es volátil y se usa principalmente en alimentos. Por esta razón, el plomo orgánico tiene más importancia en la vida que el plomo inorgánico. Además de la gasolina con plomo y los colorantes, los alimentos y el agua también pueden ser una fuente de plomo. Los cereales, las legumbres, las frutas del jardín y muchos productos cárnicos contienen plomo por encima de los niveles normales. Contienen plomo muchos pigmentos y otras sustancias principales que se encuentran en los materiales cosméticos.

Por otro lado, los cigarrillos y los pesticidas pueden contarse entre las fuentes de plomo. El proceso “Kal”, que se aplica durante la refinación y recuperación del oro en el sector de la joyería de forma industrial, provoca que una importante cantidad de plomo se arroje a la atmósfera en forma de óxido de forma ilegal (Kahvecioğlu et al., 2007).

### **2.3.6.2. Mercurio (Hg)**

El mercurio y sus derivados son sustancias comunes en la naturaleza. Las principales fuentes naturales de mercurio son las erupciones volcánicas, las erupciones submarinas y la liberación de mercurio de la tierra y el agua a través de la evaporación. La erosión de las rocas que contienen mercurio, los procesos geotérmicos y la vegetación también son fuentes naturales de este elemento.

El mercurio es considerado el elemento más peligroso y venenoso del cuerpo humano. Tanto el mercurio metálico como los compuestos de mercurio inorgánico pueden absorberse a través de la piel. También pueden ingresar al cuerpo a través del sistema respiratorio en forma de mercurio gaseoso. Los principales órganos donde se puede acumular el mercurio son los riñones, el hígado, el bazo, la sangre y el cerebro. Entre sus compuestos, el metilmercurio es uno de los más tóxicos. Se encuentra en grandes cantidades en los tejidos de los peces en aguas muy contaminadas por desechos industriales.

### **2.3.6.3. Cromo (Cr)**

El cromo, un metal cristalino gris acero, duro y brillante y el número atómico 24. Su descubrimiento se atribuye a Johann Gottlob Lehmann en 1761 (Alves et al., 2012). Las fuentes antropogénicas incluyen conservantes de madera, galvanoplastia, metalurgia y materiales de curtido. El cromo también se encuentra en el polvo de cemento, los vertederos contaminados, las aguas residuales de las plantas químicas, las emisiones al aire por la erosión de los revestimientos de asbesto, el polvo de las carreteras por el desgaste de los convertidores catalíticos y los frenos de asbesto, y el humo del cigarrillo (Ahluwalia y Goyal, 2007). Además, diversas actividades industriales contribuyen a la contaminación adicional, como la producción de aleaciones de cromo, producción de vidrio, pinturas/pigmentos, cerámica, cintas magnéticas de alta fidelidad, textiles y soldadura de aleaciones metálicas o acero. ambiente (Kotaš y Stasicka, 2000).

El cromo tiene varias aplicaciones en las industrias metalúrgica, química y refractaria. Pequeñas cantidades de cromo trivalente [Cr (III)] en la dieta pueden ser necesarias para el metabolismo de los azúcares en el cuerpo humano (Cronin, 2004; Bona et al., 2011).

El cromo puede ser tóxico, cancerígeno y mutagénico para los seres humanos y otros organismos vivos y, por lo tanto, está clasificado como un contaminante prioritario (Avudainayagam et al., 2003). La exposición severa a Cr (VI) puede causar dolor abdominal, náuseas, vómitos, diarrea severa y cáncer en el tracto gastrointestinal y los pulmones (Saçmac et al., 2012). La exposición a largo plazo a soluciones de cromato fuerte utilizadas en el tejido eléctrico, el curtido y la producción de cromo puede causar dermatitis alérgica, dermatitis irritante y úlceras cutáneas comúnmente conocidas como úlceras de cromo (Basketter et al., 2000; Baselt, 2008).

### **2.3.7. Microplásticos**

Son considerados pequeñas partículas de plástico con un diámetro < a 5 mm. Su origen puede ser primario, es decir producidos intencionadamente a este tamaño, o bien son de origen secundario, procedentes de la degradación de macrolásticos. Los microplásticos primarios se encuentran en cosméticos, ropa sintética, neumáticos coches y muchas otras fabricaciones humanas. Los microplásticos secundarios irán a parar principalmente al medio acuático, tras la degradación de los grandes plásticos por la fuerza del viento, las olas o bajo el efecto de los rayos UV. Estos pueden contener aditivos químicos que pueden ser tóxicos y afectar la salud humana. Además, los microplásticos pueden tener la capacidad de actuar como vectores para el transporte de contaminantes persistentes, como pesticidas y metales pesados, a través de los ecosistemas (Guasti, 2022).

### **2.3.7.1. Generalidades de los microplásticos**

La basura marina se crea directa o indirectamente por la eliminación indiscriminada de basura que ingresa a los mares y océanos. Los desechos plásticos se encuentran ampliamente en los océanos, tanto en la costa como en los sedimentos del fondo marino desde el Ártico hasta la Antártida. Estos desechos pueden acumularse en áreas remotas como los anillos oceánicos, pero también cerca de centros de población, rutas de navegación y otras fuentes importantes.

Los microplásticos se producen en el medio marino por la descomposición de plásticos con diferentes composiciones químicas, como el PET, el PP, el poliestireno, PTFE y PVC, que son las formas predominantes de plástico. Cuando estos plásticos se exponen a la radiación ultravioleta del sol y a fuerzas mecánicas como las olas y las mareas, su peso molecular promedio disminuye y se vuelven lo suficientemente frágiles como para romperse en pedazos pequeños (microplásticos). Este proceso también contribuye a la liberación de sustancias químicas contenidas en los plásticos en el agua, lo que aumenta la toxicidad del medio marino.

### **2.3.7.2. Macroplásticos**

Los macroplásticos son fragmentos de plástico que tienen un tamaño  $>$  a 5 mm de diámetro. Estos fragmentos pueden ser producto de la descomposición de objetos más grandes, como bolsas, botellas, juguetes, o bien, pueden ser residuos de la producción industrial o de actividades de pesca y navegación. Estos son considerados un tipo de contaminación marina, pueden causar obstrucciones intestinales, lesiones internas e incluso la muerte. Además, los macroplásticos pueden liberar sustancias químicas tóxicas a medida que se descomponen en el medio ambiente. Los macroplásticos también pueden tener impactos económicos y sociales, ya que pueden dañar la industria pesquera y turística. La eliminación y prevención de la contaminación por macroplásticos es un problema global que requiere esfuerzos de gobiernos, industrias, comunidades y consumidores. (Bollaín & Agulló, 2020).

### **2.3.7.3. Plásticos**

Son utilizados en diferentes industrias, como la alimentaria, la automotriz, la construcción, la electrónica, entre otras. Sin embargo, la producción y el uso de plásticos también pueden tener impactos ambientales negativos, como la generación de ciertos residuos que pueden tardar muchos años en degradarse.

### **2.3.8. El impacto ambiental de los microplásticos**

Las micropartículas de plástico se pueden encontrar en todas partes del medio ambiente, en realidad se encuentran en los océanos, lagos, ríos, los alimentos e incluso el aire que respiramos, por lo que son considerados micropartículas ubicuas. Su transporte dependerá del tamaño, la forma, pero también de la densidad del polímero ya que determinará si flota o no en la superficie (Sánchez, 2019).

Dentro de los efectos al medio ambiente se menciona varios como la contaminación de ecosistemas acuáticos ya que los microplásticos pueden acumularse en los cuerpos de agua y contaminar los ecosistemas acuáticos, incluyendo los mares, ríos, lagos y océanos. Pueden ser transportados a través del aire y depositados en el suelo, lo que puede contaminar los ecosistemas terrestres. Otro de los efectos prioritarios son los impactos en la cadena alimentaria ya que estos pueden ser ingeridos por organismos acuáticos. La contaminación de alimentos a causa de los microplásticos son un problema de salud ya que puede contaminar los alimentos y productos alimentarios, como mariscos y agua potable. Son varios de los efectos en el medio ambiente sin embargo se debe considerar la contaminación del aire a causa de los microplásticos ya que pueden ser liberados al aire a través de procesos de producción, transporte y uso de plásticos, lo que puede tener efectos perjudiciales en la salud y el bienestar humano como una alteración a la biodiversidad en general.

### **2.3.8.1. Efectos del Microplásticos en la Salud**

Algunos de estos efectos pueden incluir que los microplásticos pueden contener químicos tóxicos, como ftalatos y bisfenol A (BPA), que pueden generar efectos negativos en el sistema nervioso, el sistema endocrino y otros sistemas del cuerpo. Los microplásticos pueden causar inflamación y daño en el tejido pulmonar, lo que puede provocar problemas respiratorios como el asma. Los microplásticos pueden dañar el revestimiento del tracto gastrointestinal como también perjudicar la absorción de nutrientes, lo que puede generar problemas gastrointestinales. Algunos estudios sugieren que los microplásticos pueden afectar la fertilidad y el desarrollo fetal en los seres humanos. Los microplásticos pueden provocar una respuesta inmunológica en el cuerpo. En general, se necesitan amplias investigaciones para determinar el impacto exacto de los microplásticos, pero algunos estudios sugieren que estos pequeños fragmentos de plástico pueden tener efectos negativos en varios sistemas del cuerpo.

### **2.3.9. Métodos de Extracción para Microplásticos**

Los métodos de extracción son esenciales para realizar un proceso de predigestión para extraer MPs de la matriz de estudio. Los métodos de digestión más importantes incluyen procesos con reacciones ácidas, alcalinas y enzimáticas.

#### **2.3.9.1. Digestión Oxidativa**

Es un proceso que se utiliza para degradar los microplásticos en fragmentos más pequeños mediante la oxidación química de sus moléculas. La digestión oxidativa de microplásticos se realiza utilizando sustancias químicas oxidantes, como el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), que reaccionan con los microplásticos y los descomponen en fragmentos más pequeños.



Este proceso se utiliza comúnmente para analizar la composición química de los microplásticos y para estudiar su impacto. Sin embargo, la digestión oxidativa de microplásticos también puede tener algunos efectos negativos, como la generación de subproductos tóxicos y la liberación de nanopartículas que pueden ser dañinas para la salud. Los agentes oxidantes más para muestras biológicas son 30% ( $H_2O_2$ ).

#### **2.3.9.2. Digestión Ácida**

La descomposición de los microplásticos en fragmentos más pequeños mediante la exposición a sustancias ácidas, como el ácido clorhídrico (HCl) por lo que se conoce como digestión ácida de microplásticos. Esta técnica en la investigación está utilizando diferentes métodos de digestión ácida para rastrear la fusión de fibras, gránulos y piezas de diferentes especies. El agente más empleado en la digestión ácida es el ácido nítrico  $HNO_3$  al 65%, sus únicas propiedades ayudan a disolver la materia orgánica con un 98% de eficiencia.

#### **2.3.9.3. Digestión Enzimática**

A medida que las técnicas de digestión enzimática se vuelven más comunes, producen una digestión efectiva, rápida y altamente precisa al hidrolizar las proteínas y descomponer las proteínas blandas. La digestión enzimática no se dirige a los organismos microscópicos, pero su uso es costoso, lo que restringe su uso. Además, el costo de la reconstitución aumenta por el requisito de incluir una solución de homogeneización, como 400 ml de Tris-HCl.

#### **2.3.9.4. Microfiltración**

La microfiltración es un proceso de separación física que separa pequeñas partículas sólidas y líquidas a través de un medio poroso. En biotecnología, la microfiltración se usa comúnmente para purificar fluidos biológicos y eliminar partículas no deseadas en procesos biotecnológicos.

Durante el proceso de microfiltración, el fluido biológico pasa a través del filtro que manifiesta un tamaño de poro específico, que permite la separación de partículas sólidas y líquidas de diferentes tamaños. Las partículas más grandes quedan retenidas en la parte de la superficie f, mientras que las partículas que son más pequeñas pasan a través de los poros y se acumulan en el lado opuesto del filtro. La microfiltración se aplica en una amplia variedad de áreas biotecnológicas como en la clarificación de proteínas, la eliminación de microorganismos y la purificación de sustancias biológicas como anticuerpos y enzimas. La microfiltración se considera un proceso suave y no destructivo, ya que no requiere el uso de productos químicos ni altas temperaturas, por lo tanto, es adecuado para separar materiales biológicos sensibles (coronel, 2012).

#### **2.3.10. Preparación de Analitos para un Análisis Químico**

La muestra se prefiltra con poros de 0,45 mm de diámetro y 47 mm de longitud, se prefiltra con agua destilada y luego se acidifica con alícuotas que contienen 60 ml de HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a pH 2.

#### **2.3.11. Volumen de la Muestra Para Filtrar**

El volumen de muestra para filtrar microplásticos puede variar dependiendo del método utilizado y de la concentración esperada de microplásticos en la muestra. En general, se recomienda filtrar volúmenes de muestra mayores a 1 litro para aumentar la sensibilidad del análisis y reducir el error de muestreo. Sin embargo, esto puede ser impráctico o imposible en algunos casos, especialmente cuando se analizan muestras de aguas residuales o de sedimentos. Existen diferentes protocolos y técnicas para filtrar microplásticos, pero una práctica común es utilizar filtros de membrana con porosidad de 0.2-0.45 micrómetros y un diámetro de 47 mm o más. El filtro se coloca en un soporte de filtro, se humedece con agua destilada o una solución tampón y se filtra la muestra a través del filtro con una bomba de vacío.

Después de la filtración, el filtro se lava con agua destilada o una solución tampón para eliminar los contaminantes, y los microplásticos se separan del filtro para su posterior análisis. La cantidad y el tipo de microplásticos se pueden determinar utilizando diferentes técnicas analíticas, como la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR), la espectrometría de masa y la microscopía de fluorescencia.

### **2.3.12. Medios de Filtración**

Hay varios materiales de filtro que se utilizan para atrapar microplásticos como Nylon y filtros de NC.

#### **2.3.12.1. Medios Filtración superficial**

Este método se basa en atrapar las partículas en la superficie del filtro, lo que mejora la eficiencia de la filtración, ya que de la captura depende directamente la retención de partículas.

#### **2.3.12.2. Medios Filtrantes de Profundidad**

El funcionamiento de los medios filtrantes de profundidad se basa en la porosidad y estructura del material. Estos materiales suelen estar formados por fibras de vidrio, celulosa, poliéster, filtrantes de cerámica, carbón activado, entre otros, y suelen tener una estructura porosa con diferentes tamaños de poros. Las partículas sólidas son retenidas en el interior del material filtrante a medida que atraviesan la porosidad del material. El tamaño de poro adecuado del medio filtrante determina su eficacia en la retención de las partículas. Los medios filtrantes de profundidad pueden estar diseñados para uso general o para aplicaciones específicas, y se utilizan en diferentes sistemas de filtración, como filtros de agua potable, sistemas de purificación de aire, filtros de combustible, entre otros.

### **2.3.13. Características del Medio Filtrante Empleado en la Experimentación**

La membrana de nitrato de celulosa tiene una porosidad uniforme y controlada, que se ajusta en función de la aplicación específica. Los poros pueden variar en tamaño desde 0,1

micrómetros hasta 8 micrómetros. Dicha membrana es resistente a muchos productos químicos, incluidos ácidos, bases y solventes orgánicos. La membrana de nitrato de celulosa tiene una alta resistencia mecánica, lo que permite su uso en aplicaciones de filtración a alta presión. Una de las características del medio filtrante es la compatibilidad con una amplia variedad de líquidos y gases, lo que la hace útil en diferentes aplicaciones, como la filtración de muestras biológicas o de alimentos. La membrana de nitrato de celulosa tiene una baja fluorescencia, lo que la hace adecuada para su uso en aplicaciones de fluorescencia. La membrana de nitrato de celulosa es biocompatible, lo que la hace de gran uso en aplicaciones biomédicas, como la separación de células y la eliminación de endotoxinas.

#### **2.3.13.1. Aplicaciones de los Filtros de Nitrato de Celulosa**

- Identificación de ácidos nucleicos
- Esterilización de muestras
- Análisis cualitativos de partículas
- Análisis microbiológico
- Prefiltración de muestras
- Determinación de proteínas
- Filtración de aguas

#### **2.3.13.2. Especificaciones Técnicas de los filtros de Membrana de Nitrato de Celulosa**

Para adaptarse a diversos requisitos de filtración, estos filtros vienen en una variedad de tamaños, porosidades y diámetros. Según el fabricante y el modelo en particular, los parámetros técnicos de los respectivos filtros pueden cambiar, pero los siguientes son algunos requisitos habituales:

Exhiben una gama de porosidades entre 0,1 y 8 micras. Basándose en la retención deseada del tamaño de partícula, se selecciona la porosidad. Hay muchos diámetros de estos filtros, que van desde 13 mm hasta 293 mm. La cantidad de muestra a filtrar determina el diámetro. Van desde 50 micrómetros hasta 180 micrómetros de espesor. Según el uso previsto, se selecciona el grosor. La cantidad de aire que puede viajar a través de este filtro a una presión y a una temperatura en particular se denomina flujo de aire. Dependiendo de la porosidad del filtro, el caudal de aire puede oscilar entre 2 y 50 litros por minuto. La temperatura máxima de funcionamiento varía según el fabricante y el tipo. La temperatura máxima típica de funcionamiento está entre 120 y 130 °C. Dependiendo del tamaño de la partícula, estos filtros están hechos para retenerla. La porosidad del filtro afecta la eficiencia de retención de partículas, que para algunos tamaños de partículas puede ser superior al 99,9%.

#### **2.3.14. Métodos de Detección de Microplásticos**

El microscopio es una herramienta clave en la microscopía, ya que está diseñado para hacer evidentes los detalles minuciosos. Esto significa que permite una vista ampliada de la muestra, haciendo que los detalles sean visibles a simple vista.

##### **2.3.14.1. Microscopía Óptica**

La mayoría de las células son consideradas demasiado pequeñas para verse al ojo humano.

La observación de células usando el microscopio óptico ha contribuido al avance de nuestro conocimiento sobre ellos. Este tipo de microscopio se llama comúnmente un "microscopio óptico" porque utiliza lentes y una fuente de luz para ampliar la muestra observado. El microscopio óptico es el más común, versátil y el más utilizado en la actualidad.

#### **2.3.14.2. Microscopía Electrónica**

Es una tecnología que visualiza y analiza estructuras microscópicas a una escala muy grande. En lugar de usar luz visible, usa un haz de electrones para iluminar una muestra, produciendo imágenes muy detalladas y precisas. Los microscopios electrónicos se han aplicado a la investigación de la microestructura y morfología de células y tejidos, lo que ha mejorado enormemente nuestra comprensión de la biología y la patología celular. En microscopía electrónica varía de 0,001 a 0,01 nm, mientras que en microscopía óptica varía de 380 a 780 nm, lo que le hace característico a la hora de observar objetos dentro de la matriz (Calderón, 2020).

#### **2.3.14.3. Microscopia de Barrido por Sonda**

Se descubrió a principios de la década de 1980, cuando esplendor al mundo al producir las primeras imágenes de superficies tomadas en el espacio real con una resolución a escala atómica nunca vista. Actualmente, SPM es una de las técnicas más empleadas en varias disciplinas que incluyen superficie fundamental ciencia, exámenes de rutina de la rugosidad de la superficie e imágenes tridimensionales (desde los átomos de silicio hasta proyecciones a microescala en la superficie de una célula viva) (Arroyave, 2008). SPM pertenece a la rama de la microscopía que produce imágenes de alta definición de una superficie utilizando sondas físicas que escanean la muestra. Esto se hace manteniendo la sonda estacionaria y moviendo la muestra o viceversa. Los datos recopilados y su variación a lo largo de la muestra se emplean para producir la imagen de la muestra.

#### **2.3.14.4. Microscopia de Fluorescencia**

Considerada una herramienta esencial en biología, así como en la ciencia de los materiales, ya que tiene atributos que no están fácilmente disponibles en otras técnicas de microscopía óptica. La tarea principal de un microscopio de fluorescencia es iluminar la muestra con una cierta longitud de onda y luego emitir luz emitida (fluorescente), que es

significativamente más débil que la luz de excitación (Pietrasanta y Von Bilderling, 2011). Solo la luz emitida debe alcanzar el ojo u otro detector para que las áreas fluorescentes resultantes se contrasten con un fondo oscuro. El límite de detección está determinado en gran medida por la oscuridad del fondo. La luz excitante es típicamente o veces más brillante que la luz emitida.

## **CAPITULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.2 Nivel de investigación**

La presente investigación se enmarcó en un enfoque descriptivo, con el nivel de investigación seleccionado se consiguió describir e interpretar los datos obtenidos durante el estudio. Además, la investigación propuesta corresponde a un estudio observacional, debido a que el rol de los investigadores se restringió a la medición de las variables consideradas en este estudio sin la manipulación de las mismas, realizando comparaciones correlacionales de los datos obtenidos con la población establecida en el estudio. Asimismo, se trata de un estudio de tipo longitudinal debido a que se realizó más de una medición de toma de muestras en el tiempo de estudio. Finalmente, el momento de recolección de datos corresponde a una cohorte prospectivo, debido a que las muestras se tomaron una vez que inició el estudio, haciendo uso de expedientes de registros de datos (anexo 4).

#### **3.3 Diseño de investigación**

El diseño de investigación utilizado en este estudio se definió como una investigación descriptiva, ya que se centró en la obtención y levantamiento de datos sin la manipulación de las variables de estudio. A su vez, este diseño se dividió en dos enfoques: el diseño documental y el diseño de campo. El diseño documental implicó la búsqueda, análisis e interpretación de fuentes secundarias pertinentes para el estudio y que enriquezcan la investigación. Por otro lado, el de campo se basó en la obtención de datos directamente de las muestras investigadas sin manipulación o control de factores externos, utilizando registros de datos (anexo 4 y 4.1) y observación directa. Finalmente, este tipo de investigación también implicó un estudio longitudinal, ya que se realizó más una medición de toma de muestras en el tiempo de estudio.



### **3.4 Población y muestra**

La población corresponde al recurso hídrico de la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, Provincia de Morona Santiago. Así, se empleó un muestreo de tipo compuesto (NTE INEN 2223: 2016, apartado I), se refiere a una combinación de muestras simples que se han recogido en la microcuenca del río durante un lapso de 30 minutos, donde todos los elementos cumplen con la misma característica y posibilidad de ser seleccionado. El tamaño de muestra, correspondiente a 12 muestras de alícuotas de 500 ml por cada punto de muestreo, fue previamente calculado de acuerdo a la norma INEN 2226: 2013, apartado I, con base en el programa de muestreo denominado “Programa de Control del Agua”. El procesamiento y definición de los lugares de muestreo, se fundamentó en un plan de muestreo de ríos y afluentes, de acuerdo a la NTE INEN 2223, (Instituto Ecuatoriano de Normalización 2223, 2003, apartado I), y se establecieron los puntos de toma de muestra a través de ARCGIS, el cual generó la localización de coordenadas de los puntos de muestreo. Finalmente, la presente investigación se desarrollará con una extensión de 1400 ha, correspondiente a la microcuenca del río Gualaceño; desde La Virgen - Gualaceo, hasta el Centro de interpretación del Área Ecológica de Conservación Municipal Tinajillas.

### **3.5 Variables**

#### **3.5.1. Variable dependiente**

Concentración de microplásticos y metales pesados.

#### **3.5.2. Variable independiente**

Posición de los puntos de muestreo específicos dentro de la microcuenca del Río Gualaceño.

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

Primeramente, se llevó a cabo la búsqueda de artículos de alto impacto, a través de plataformas académicas como *PubMed*, *Google Scholar*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scopus* y *ArXiv*, utilizando palabras clave específicas, lo que permitió la recopilación de información y material relevante para el estudio. Además, se usaron registros (anexo 4 y 4.1), imágenes (anexo 1, 2 y 11) y mapas geográficos (anexo 13), como herramientas para el levantamiento y recolección de información, los cuales proporcionaron datos detallados y sistemáticos que fueron de utilidad para el análisis y la interpretación posterior de los resultados.

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

El presente estudio se define como una investigación descriptiva. Así, para el procesamiento de datos se empleó herramientas como el software Excel y Google Sheets para clasificar y registrar datos, utilizando tablas de registro de muestras (anexo 4 y 4.1) y gráficos bloxplots (Figura 7 y 8) para identificar el comportamiento de la distribución de microplásticos y metales pesados en los diferentes puntos de muestreo. Por otro lado, para el análisis de datos se aplicó técnicas estadísticas tanto descriptivas como inferenciales para establecer la variación de las concentraciones en los diferentes puntos de muestreo.

### **3.1 Protocolo implementado**

#### **3.1.1 Selección de puntos de muestreo**

Para la definición de los puntos de muestreo y alineamientos relacionados, se tomó como referencia la norma técnica ecuatoriana (INEN 2226: 2013, sección 4.1.3.2), los cuales deben cumplir los siguientes criterios: características físicas del río (extensión microcuenca, velocidad del caudal, dirección del río y profundidad), accesibilidad de la zona de estudio, fuentes de contaminación relacionadas con actividades humanas y actividad local, y objetivo del muestreo. Así, se logró establecer la localización de los siguientes puntos UTM estandarizados, utilizando el programa software ARCGIS: P1 (entrada del RÍO 762450.9375 X, 9667311 Y), P2 (762900.9375 X, 9667423.5 Y), P3 (763675.9375 X, 9667548.5 Y), P4 (766013.4375 X, 9667273.5 Y), P5 (766950.9375 X, 9666923.5 Y), P6 (Salida del río 768125.9375 X, 9666273.5 Y), destinados al análisis de metales pesados y los puntos P1 (entrada del RÍO 762450.9375 X, 9667311 Y) y P6 (salida del río 768125.937 X, 9666273.5Y) destinados netamente para análisis de microplástico.

### 3.1.2 Cálculo del número de muestras por punto de muestreo

El cálculo del número de muestras por punto de muestreo se basó en la norma técnica INEN (INEN 2226: 2013, sección 4.1.9.3, apartado Programa de muestreo y control de calidad). Así, con un nivel de confianza del 95%, un intervalo de confianza del 10% y una desviación estándar de 9, recomendada para las muestras de agua en río y afluentes, se tiene:

#### *Ecuación 1*

*Fórmula para calcular número de muestras totales.*

$$IC = \frac{2 \times K \times \theta}{\sqrt{X}}$$

Donde: IC, es el intervalo de confianza; K constante del ancho del intervalo de confianza;  $\theta$ , desviación estándar recomendada y X, es la incógnita que representa el número de muestras.

$$10 = \frac{2 \times 1.96 \times 9}{\sqrt{X}}$$

$$X = 12 \text{ muestras}$$

Dando un resultado de 12 muestras totales, distribuidas en los meses correspondientes de abril y mayo de 2023, 6 muestras por cada mes, respectivamente. Dando así, cumplimiento a la norma (INEN 2870:2012, sección 5.2, apartado Planificación y de monitoreo de agua), la cual recomienda que se tomen al menos 4 muestras en la línea de muestreo a lo largo del río.

### 3.1.3 Toma de muestras

La norma INEN (INEN 2226: 2013, sección 4.1.9.5), sugiere un muestreo compuesto. Es decir, que se tomaron una serie de muestras individuales en intervalos regulares durante el período de muestreo de 30 minutos por 2 horas. Así, las muestras individuales se tomaron en intervalos de tiempo iguales y con un volumen constante. Una vez que se han tomado todas las muestras individuales del punto de muestreo, se mezclaron bajo las mismas condiciones para crear una muestra compuesta representativa del período de muestreo. Obteniendo un total de 12 muestras compuestas con alícuotas de 500 ml por cada punto de muestreo.

**Tabla 1**

*Distribución de las muestras compuestas del estudio.*

<b>Código de muestra</b>	<b>Mes de Muestreo</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Ubicaciones coordenadas estandarizadas UTM</b>	<b>Volumen de muestra (ml)</b>
<b>01-RÍOGuala-abril-2023</b>	Abril	Punto 1 Entrada microcuena	762450.9375 X, 9667311 Y	500
<b>02-RÍOGuala-abril-2023</b>	Abril	Punto 2	762900.9375 X, 9667423.5 Y	500
<b>03-RÍOGuala-abril-2023</b>	Abril	Punto 3	763675.9375 X, 9667548.5 Y	500

<b>04-RÍOGuala-abril-2023</b>	Abril	Punto 4	766013.4375 X, 9667273.5 Y		500
<b>05-RÍOGuala-abril-2023</b>	Abril	Punto 5	766950.9375 X, 9666923.5 Y		500
<b>06-RÍOGuala-abril-2023</b>	Abril	Punto 6 Salida microcuena	768125.9375 X, 9666273.5 Y		500
<b>01-RÍOGuala-mayo-2023</b>	Mayo	Punto 1 Entrada microcuena	762450.9375 X, 9667311 Y		500
<b>02-RÍOGuala-mayo-2023</b>	Mayo	Punto 2	762900.9375 X, 9667423.5 Y		500
<b>03-RÍOGuala-mayo-2023</b>	Mayo	Punto 3	763675.9375 X, 9667548.5 Y		500
<b>04-RÍOGuala-mayo-2023</b>	Mayo	Punto 4	766013.4375 X, 9667273.5 Y		500
<b>05-RÍOGuala-mayo-2023</b>	Mayo	Punto 5	766950.9375 X, 9666923.5 Y		500

<b>06-RÍO Guala- mayo-2023</b>	Mayo	Punto 6 Salida microcuena	768125.9375 X, 9666273.5 Y	500
------------------------------------	------	---------------------------------	-------------------------------	-----

---

<b>TOTAL</b>	<b>12</b> <b>MUESTRAS</b>
--------------	------------------------------

*Nota.* Fuente: Autores

### **3.1.4 Duración y frecuencia del muestreo**

La norma INEN (INEN 2226: 2013, sección 4.1.9.1), sugiere que la frecuencia de muestreo sea mensual, para tener una evaluación de la calidad del agua durante diferentes temporadas y condiciones climáticas. El estudio se desarrolló durante los meses correspondientes de abril y mayo de 2023. Se recolectaron muestras el sábado 01 de abril, y nuevamente el lunes 01 de mayo. Durante el período de recolección, se registraron temperaturas variables entre los 12 y 20 grados Celsius, y lluvias moderadas a fuertes.

### **3.1.5 Conservación de muestras**

La norma INEN (INEN 2226: 2013, sección 4.1.10.5.1), menciona que es importante recolectar las muestras en un recipiente limpio y estéril, garantizando la calidad de las muestras, de preferencia de vidrio o plástico resistente. De esta manera, para la toma de muestras de metales pesados se usaron botellas de polipropileno (PP) con capacidad de 500 ml y para el caso de microplásticos se usaron botellas ámbar con tapa de corcho, libres de plásticos. Siguiendo la normativa de muestreo para control de calidad (INEN 1108: 2014, sección 4.4.4.), estas deben etiquetarse con información relevante, como número de muestra, fecha, hora, lugar de muestreo descritos en coordenadas geográficas. Finalmente, si se buscan detectar metales pesados en las muestras, es necesario etiquetar las alícuotas y almacenarlas a una temperatura inferior a los 10 °C, y evitar la exposición directa a la radiación solar.



### 3.2 Proceso descriptivo para microplástico

A continuación, se detallan los procedimientos utilizados para el análisis de microplástico.

#### 3.2.1 Materiales

**Tabla 2**

*Materiales, equipos y reactivos para análisis de microplásticos.*

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
– Probeta 100 ml	– H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30%	– Cámara de flujo laminar
– Vasos de precipitación de 250 y 600 ml	– Rojo de Nilo	– Equipo de filtración al vacío
– Cajas Petri de vidrio	– Agua destilada	– Microscopio invertido de fluorescencia
– Papel aluminio		
– Pipeta		
– Tapas corcho		– FTIR
– Botellas ámbar		

*Nota.* Fuente: Autores

#### 3.2.3 Proceso de digestión oxidativa

Para la digestión oxidativa, se añadió 25 mililitros de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> -30% v/v, junto con 250 ml de la muestra de agua superficial en un vaso de precipitación y se dejó reposar a temperatura ambiente, durante 3 días.

### **3.2.4 Proceso de microfiltración**

Después de transcurrir dicho período, se procedió a extraer los microplásticos con el apoyo de un equipo de filtración al vacío. Para ello, se procedió a filtrar las muestras, previamente digeridas, a través de filtros de NC (0,45  $\mu\text{m}$  y estériles), en un total de 12 unidades. Posteriormente, a los filtros se los dejó en cajas Petri de vidrio, protegidos con papel aluminio y finalmente, se dejaron secar durante un plazo de 24 horas a temperatura ambiente.

### **3.2.5 Proceso de tinción y fluorescencia**

Para finalizar el proceso, se roció los filtros de nitrato de celulosa con el tinte rojo Nilo. Luego, se colocaron los filtros en una estufa a una temperatura de 60°C-1 hora.

### **3.2.6 Observación por microscopio invertido de fluorescencia**

Para esto, se utilizó el microscopio invertido con fluorescencia, logrando identificar fragmentos y fibras de microplásticos, lo que permitió la caracterización en cuanto a su forma, cantidad, dimensión y tamaño.

### **3.2.7 Identificación a través del FTIR**

Se llevó a cabo la identificación del tipo de microplástico, utilizando el equipo FTIR, a través del software OMNIC Spectra y OMNIC, evaluando los espectros generados de los polímeros plásticos identificados en cada muestra.

### 3.3 Proceso descriptivo para metales pesados

A continuación, se detallan los materiales, equipos y reactivos utilizados para el análisis de las muestras para metales pesados.

#### 3.3.1 Materiales

**Tabla 3**

*Materiales, equipos y reactivos para análisis de metales pesados.*

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
– Probeta 100 ml	– Soluciones estándar	– Cámara de flujo laminar
– Vasos de precipitación	para Cr, Pb y Hg.	
– Cajas Petri de vidrio	– Agua Milliq.	– espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente.
– Papel aluminio		
– Pipeta		
– Tapas corcho		
– Botellas ámbar		ICEP-OES

*Nota.* Fuente: Autores

#### 3.3.2 Preparación de las muestras

Se procedió a filtrar las muestras, a través de un filtro de café, con el fin de eliminar cualquier material sólido suspendido.

#### 3.3.3 Proceso de generación de la curva de calibración

Para la generación de la curva de calibración se preparó una serie de diluciones seriales, a partir de la solución madre, partiendo desde la mayor concentración hasta llegar a la concentración más baja, como se puede apreciar en la tabla 4, dichas concentraciones fueron establecidas de acuerdo a artículos y normas referentes a cada metal pesado Cr, Pb y Hg en agua superficial.

**Tabla 4**

*Curva de calibración para metales pesados.*

<b>Curva de calibración metales pesados Cr, Pb y Hg</b>			
<b>Concentraciones de los estándares</b>	<b>Cr</b>	<b>Pb</b>	<b>Hg</b>
<b>5</b>	9,5 ppb	95 ppb	0,95 ppb
<b>4</b>	7,5 ppb	75 ppb	0,75 ppb
<b>3</b>	5,5 ppb	55 ppb	0,55 ppb
<b>2</b>	3,5 ppb	35 ppb	0,35 ppb
<b>1</b>	1,5 ppb	15 ppb	0,15 ppb

*Nota.* Fuente: Autores

### **3.3.4 Configuración del equipo ICP-OES**

Finalmente, se configuró los parámetros conforme del equipo, a través del software Qtegra en visión axial, correspondiente a elementos traza como se observa en la tabla 5, y posteriormente se corrieron cada una de las muestras de agua superficial.

**Tabla 5***Parámetros de detección para el equipo ICP-EOS y configuración del método*

<b>PARÁMETROS DE DETECCIÓN PARA EL EQUIPO ICP-EOS</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Límite de detección Vista axial (ug/l)</b>
<b>Cr</b>	205.560	0.21
<b>Pb</b>	220.353	0.06
<b>Hg</b>	184.950	0.14

<b>PARÁMETROS ESTABLECIDOS DEL MÉTODO CONFIGURADO EN VISIÓN AXIAL</b>	
<b>UV exposure time</b>	15
<b>UV RF Power</b>	1150
<b>UV Neb Gas Flow</b>	0.5
<b>Vis RF Power</b>	5
<b>Vis Neb Gas Flow</b>	1150
<b>Vis RF Power</b>	0.5
<b>Cool Gas Flow rate</b>	12
<b>Aux Gas Flow rate</b>	0.5

*Nota.* Fuente: Autores

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

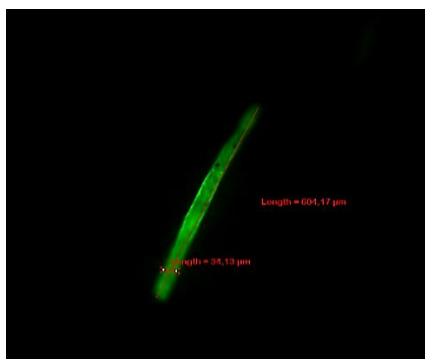
#### 4.1. Análisis y discusión de los resultados de microplástico

Se evaluaron diferentes parámetros referentes a los microplásticos identificados en cada muestra de agua, el análisis de microplásticos se realizó a través del microscopio y FTIR, obteniendo imágenes que permitieron caracterizar los microplásticos en forma, tamaño, cantidad, dimensiones y tipo. Así se presentan los siguientes resultados:

##### 4.1.2 Morfología de los microplásticos

###### *Figura 1*

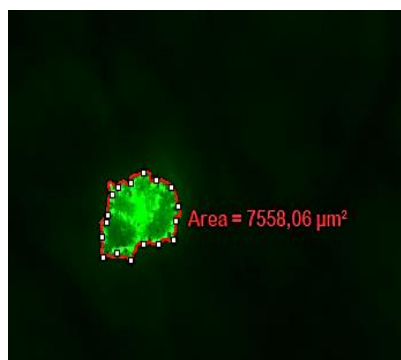
*Morfología de una fibra de microplástico.*



Fuente: Los autores.

###### *Figura 2*

*Morfología de un fragmento de microplástico.*



Fuente: Los autores.

En la investigación realizada, se determinó que el 53% de las partículas identificadas en las muestras analizadas correspondían a fibras de microplásticos (figura 1), mientras que el 47% restante eran fragmentos (figura 2), las cuales variaban en longitud y grosor. Estos resultados exponen la presencia y distribución de microplásticos en la microcuenca del río Gualaceño, mostrando una mayor proporción de fibras en comparación con los fragmentos. Así, en contraste con el estudio realizado por Narváez y Tipán (2022) en el río Pumacunchi, se encontró presencia de microplásticos en todas las muestras analizadas en 3 sitios de muestreo: parte alta, media y baja del río, logrando identificar un 13% de fragmentos y un 87% de fibras. Sin embargo, en el estudio realizado por Vidal et al. (2021) donde se analizaron 37 muestras de agua superficial en el estuario interno y externo de la bahía Buenaventura, Colombia, en un periodo de 4 años que abarcó épocas lluviosas, secas y de transición, encontrando un total de 62,2 % de fragmentos y 37,4 % de fibras, respectivamente: logrando identificar mayor presencia de fibras en el estuario interno y predominio de los fragmentos en el estuario externo. Asimismo, cabe destacar el estudio llevado a cabo por Castañeta et al. (2020) en el río Portoviejo, el cual se enfocó en analizar la presencia de microplásticos en la cuenca alta y baja de dicho río. Los resultados revelaron que se detectó un 45% de fibras y un 55% de fragmentos en la parte alta, mientras que en la parte baja se encontró un 38% de fibras y un 62% de fragmentos. Estos hallazgos ponen de manifiesto un predominio de fragmentos en ambas zonas del río. Finalmente, comparando con el estudio llevado a cabo por Rocío et al. (2021) en el río de la Plata, donde se observa una significativa presencia de microplásticos a lo largo del río. En dicho estudio, se determinó que el 70% de las partículas eran fibras, mientras que el 30% restante correspondía a fragmentos. De esta manera, se confirma que la fibra es el tipo de partícula más predominante en la mayoría de las investigaciones presentadas.

### **4.1.3 Concentración de partículas de microplástico**

En el presente estudio se evidenció un promedio de 25 partículas/ml. Contrastando con el estudio realizado por Cabrera et al. (2022), donde analizaron muestras de agua superficial de la cuenca del río Guanajuato, en tres puntos de muestreo: cuenca baja (a menos de 2 000 m.s.n.m.), cuenca mediana (rango de 2 000 a 2200 m.s.n.m.) y cuenca alta (a más de 22001 m.s.n.m.), encontrando un total mayoritario de 137 partículas/ 250 ml, destacando la mayor concentración de en la cuenca media con un total de 48 partículas/250 ml, seguida por la cuenca alta con 89 partículas/ 250 ml y finalmente la cuenca baja con 69 partículas/ 250 ml concluyendo que la cuenca del río presenta una contaminación significativa de microplásticos. Dichos resultados difieren a los reportados en la presente investigación debido a la densidad de población específica en términos de partículas por litro de agua superficial, las características únicas de la cuenca del río que se tuvieron en cuenta en el estudio, y el nivel de urbanización. Asimismo, en el presente estudio, se encontró que el 100% de todas las muestras contenían partículas plásticas microscópicas, al igual que en el estudio propuesto por Drabinski et al. (2023) en donde se analizaron muestras compuestas de agua obtenidas de 15 sitios de muestreo a lo largo del río Macacu, Brasil, identificando que el 100% de muestras contienen MPs con rango promedio de concentración de 76 partículas/ 250 ml, encontrando la menor concentración en el punto 1 de muestreo con un total de 22 partículas/ 250 ml y la más alta registrándose en el punto 11, con 54 partículas/ 250 ml, con predominio de fibras y fragmentos, concluyendo que las partículas de MPs en agua superficial aumenta con distancia en dirección corriente abajo, siendo las actividades antropogénicas, la causa más representativa de la contaminación por partículas microplásticas.



**Tabla 6***Concentración de partículas de microplástico identificados.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestra</b>	<b>Cantidad de Fibras (partículas)</b>	<b>Cantidad de Fragmentos (partículas)</b>	<b>Concentración (partículas/250ml)</b>
<b>ENTRADA DEL RÍO</b>	<b>M1</b> Abril	19	15	<b>34</b>
	<b>M2</b> Mayo	20	12	<b>32</b>
<b>SALIDA DEL RÍO</b>	<b>M3</b> Abril	10	8	<b>18</b>
	<b>M4</b> Mayo	4	12	<b>16</b>
<b>Promedio general</b>		<b>25 partículas por cada 250 ml</b>		

*Nota.* Fuente: Los Autores.**4.1.4 Tamaño de partículas de microplástico**

En la tabla 7, se presentan los rangos promedio del tamaño de las fibras y los fragmentos identificados en las muestras analizadas. Se encontraron fibras con un rango de tamaño de 3.23 a 425.78  $\mu\text{m}$ , lo que indica que varían en longitud. Por otro lado, los fragmentos tenían un rango de tamaño de 42.54 a 127.28  $\mu\text{m}$ .

Estos resultados muestran la diversidad de tamaños de microplásticos presentes en las muestras analizadas, lo que puede tener implicaciones para su transporte, acumulación y potencial impacto en la microcuenca del río, corroborando los datos obtenidos con los resultados de la investigación realizada por Calvo (2020), donde se encontraron partículas de MPs de tamaños desde 1  $\mu\text{m}$  a 5 mm, a través de identificación visual con microscopios electrónicos. La mayoría de las investigaciones científicas han reportado la presencia de MP con un tamaño  $<$  a 5 mm. En el estudio realizado por Vivar y Orellana (2022), se analizaron un total de 99 muestras de agua recolectadas en diferentes puntos del sistema de potabilización de Tomebamba, Cuenca. En todas las muestras analizadas se encontró la presencia de microplásticos. Los tamaños de los microplásticos identificados en las muestras variaron, con tamaños de fibras que oscilaron entre 6.31  $\mu\text{m}$  y 4966.77  $\mu\text{m}$ , y fragmentos con tamaños que iban desde 6.95  $\mu\text{m}$  hasta 243.87  $\mu\text{m}$ . Estos resultados confirman los parámetros evaluados en cuanto a los tamaños de los fragmentos, puesto que son  $<$  250  $\mu\text{m}$ , y fibras  $<$  5  $\mu\text{m}$ . Así también, Gonzales (2019) estudió la presencia de MPs en la cuenca del río Besós y Tordera, Europa, encontrando tamaños de fragmentos entre rangos 50 – 100  $\mu\text{m}$  y fibras  $<$  5  $\mu\text{m}$  en ambas cuencas. Por consiguiente, los hallazgos de este estudio respaldan los resultados obtenidos previamente.

**Tabla 7**

*Tamaño de partículas de microplástico identificados.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Muestra</b>	<b>Rango de distribución de tamaño de Fibras (micrómetros <math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Rango de distribución de tamaño de Fragmentos (micrómetros <math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>ENTRADA DEL RÍO P1</b>	<b>M1</b> <b>Abril</b>	<b>3.53-53.5</b>	<b>42.54-57.46</b>
	<b>M2</b> <b>Mayo</b>	<b>7.03-53.57</b>	<b>66.55-127.28</b>
<b>SALIDA DEL RÍO P6</b>	<b>M3</b> <b>Abril</b>	<b>10.37-243.92</b>	<b>53.82-81.88</b>
	<b>M4</b> <b>Mayo</b>	<b>21.72-425.78</b>	<b>66.59-101.44</b>
<b>Rango general</b>		<b>3.53-425.78 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>42.54-127.28 <math>\mu\text{m}</math></b>

*Nota.* Fuente: Los Autores.

#### **4.1.5 Tipo de partículas de microplásticos**

En el estudio realizado, se analizó la presencia de diferentes tipos de polímeros en el punto de entrada del río (Punto 1) y en el punto de salida del río (Punto 6). Los resultados de la tabla 8 revelaron la presencia de varios tipos de polímeros, entre ellos el Tereftalato de polietileno (PET), el Politetrafluoroetileno (PTFE), el Polietileno (PP) y la Poliamida. Al comparar estos resultados con un estudio previo realizado por Naspud y Zhiñin (2022) en el río Gualaceo, se observó que el 100% de las muestras de agua analizadas contenían microplásticos. En dicho estudio, se identificó una mayor incidencia de PET, presente en un

82% de las muestras, seguido del PTFE en un 10% y la Poliamida en un 8%. Estos polímeros suelen estar relacionados con botellas plásticas, bolsas plásticas, residuos de prendas textiles y productos plásticos sintéticos. La presencia predominante de PET en las muestras puede atribuirse a su amplio uso en productos sintéticos, su capacidad para fragmentarse en micropartículas y su resistencia a la degradación. En contraste con otro estudio llevado a cabo por Sáenz (2020), en la parte alta del río Guayllabamba, reveló una concentración relativamente alta de microplásticos, con un predominio de PET en un 58.8%, seguido de Polietileno en un 25.4% y Poliéster en un 15.8%. Estos resultados coinciden con los tipos de polímeros identificados en las muestras del presente estudio. Por otro lado, en el estudio realizado por Higuera (2022) en el río Maipo, Chile, se encontró la presencia de un mayor número de polímeros en las muestras analizadas, siendo el Polivinilo el más común con un 41.89%, seguido del Poliéster con un 24.05%, Poliamida con un 13.58% y el PET 20.48%. Finalmente, estos hallazgos son consistentes con la presencia de los diferentes tipos de polímeros plásticos encontrados en las muestras analizadas en el presente estudio y resaltan la importancia de controlar y evaluar la calidad del recurso hídrico.

**Tabla 8**

*Tipo de partículas de microplástico identificadas.*

<b>Punto</b>	<b>Tipo de Polímero identificado</b>				
	<b>PET</b>	<b>PTFE</b>	<b>Poliamida</b>	<b>Nylon</b>	<b>Otros</b>
<b>ENTRADA DE RÍO</b>	82,91%	0,64%	14,54%	0,64%	1,28%
<b>P1</b>					
<b>SALIDA DEL RÍO</b>	84,77%	7,85%	6,28%	0,47%	0,63%
<b>P6</b>					

*Nota.* Fuente: Los Autores.

## 4.2 Análisis estadístico

Para el análisis de datos se aplicó técnicas estadísticas tanto descriptivas como inferenciales, para establecer la variación de las concentraciones y el valor de significancia entre los diferentes puntos de muestreo. Así se presentan los siguientes resultados:

**Tabla 9**

*Estadística descriptiva.*

	<b>ENTRADA DE RÍO</b>	<b>SALIDA DEL RÍO</b>
	<b>P1</b>	<b>P6</b>
<b>Media</b>	32.67	16.5
<b>Error típico</b>	2.08	1.04
<b>Mediana</b>	33	17
<b>Desviación estándar</b>	2.94	1.47
<b>Varianza de la muestra</b>	8.64	2.16
<b>Rango</b>	6	4
<b>Mínimo</b>	30	14
<b>Máximo</b>	36	18

*Nota.* Fuente: Los Autores.

En la presente tabla, se evidencia la diferencia de concentraciones presentes en la entrada P1 y salida del río P6, observando que el valor máximo de microplásticos se encuentra en el P1.

Para realizar la varianza de las concentraciones de microplasticos en los sitios de muestreo, primeramente, se comprobó través de la prueba de Shapiro, que los datos sigan la distribución normal como se logra apreciar en la tabla 10. Así, se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Los datos cumplen la distribución normal, representada por  $N(\mu, \sigma^2)$ .

Hipótesis Alternativa (H1): Los datos no cumplen la distribución normal, es decir, difieren de  $N(\mu, \sigma^2)$ .

**Tabla 10**

*Test de normalidad.*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Ingreso/Salida en la microcuenca del Rio Gualaceño</b>	0.81504	0.01396
<b>Nivel de Significancia</b>		0.05

*Nota.* La

prueba se realizó mediante el software estadístico R-Studio. Fuente: Los Autores.

Según los resultados ( $P 0.01396 < 0.05$ ). Por lo que, se rechaza (H0) en este caso, lo que indica que los valores no cumplen la normalidad. En consecuencia, se procedió a realizar una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para determinar la varianza de los datos como se aprecia en la tabla 11. Así, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Las concentraciones de microplásticos son iguales en todos los puntos del muestreo.

Hipótesis Alternativa (H1): Las concentraciones de microplásticos no son iguales en todos los puntos del muestreo.

**Tabla 11**

*Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.*

<b>Kruskal-Wallis test</b>		
<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>Chi-squared</b>	<b>p-value</b>
<b>Ingreso/Salida en la microcuenca del Río Gualaceño</b>	8.5161	0.00352
<b>Nivel de Significancia</b>		0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el software estadístico R-Studio. Fuente: Los Autores.

Con base los resultados, ( $P 0.00352 < 0.05$ ), se rechaza (H0). Es decir, se concluye que hay diferencias significativas en las concentraciones de microplásticos entre la entrada y la salida del río en la microcuenca.

Mediante la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney, se comparó las medianas de los grupos independientes, como se logra apreciar en la tabla 12. Así, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Las medianas de los grupos son iguales.

Hipótesis Alternativa (H1): Las medianas de los grupos son diferentes.

**Tabla 12**

*Prueba de U de Mann-Whitney.*

<b>Prueba de U de Mann-Whitney</b>		
<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>Grupos</b>	<b>Medianas</b>
<b>Entrada de microcuenca</b>	a	33
<b>P1</b>		
<b>Salida de microcuenca</b>		
<b>P6</b>	b	17.5
<b>Contraste</b>	P1 Entrada de microcuenca – P6 Salida de microcuenca	
<b>p-value</b>		0.004551
<b>W</b>		36
<b>Nivel de Significancia</b>		0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa R-studio. Fuente: Los Autores.

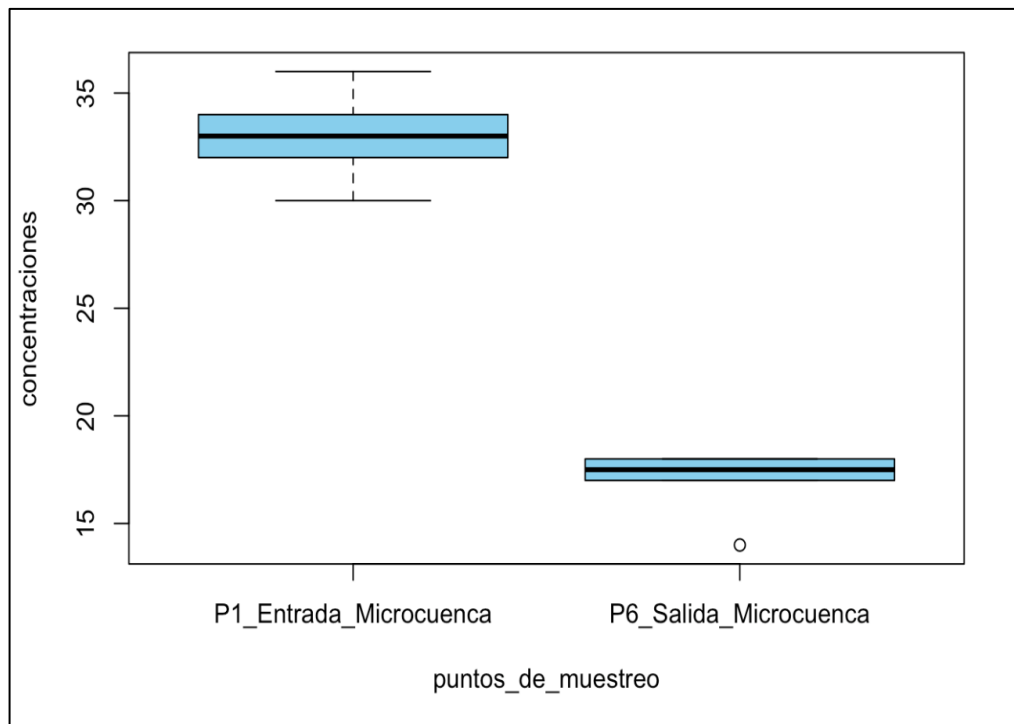
Según los resultados, ( $P 0.004551 < 0.05$ ), se rechaza ( $H_0$ ), por lo que se concluye que las medianas de los grupos son diferentes. Así, con una mediana de 33 para el grupo “Entrada de microcuenca”, se infiere que la mayor concentración de microplásticos se encuentra a la entrada de la microcuenca P1.

Posteriormente, mediante un diagrama de cajas y bigotes se logró apreciar el comportamiento de la distribución de las concentraciones de microplásticos en los puntos de muestreo, como se aprecia en la siguiente figura:



**Figura 3**

*Diagrama de cajas y bigotes microplasticos*



*Nota.* Fuente: Los Autores.

A través del diagrama de cajas y bigotes, se puede observar que, en los dos puntos de muestreo: P1 (Entrada) y P6 (Salida) de la microcuenca, existe un comportamiento diferente, respecto a las medianas de cada grupo.

### 4.3 Análisis y discusión de los resultados de metales pesados

A continuación, se presentan las concentraciones en ppb, reportadas por el ICP-EOS, como se presenta en la tabla 13, las cuales fueron comparadas con la norma ambiental vigente TULSMA -Anexo I, Tabla 3.

**Tabla 13**

*Concentración de metales pesados Cr, Pb y Hg.*

<b>CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (ppb)</b>			
<b>MUESTRA ANALIZADA</b>	<b>Cr</b>	<b>Pb</b>	<b>Hg</b>
	<b>(ppb)</b>	<b>(ppb)</b>	<b>(ppb)</b>
<b>M1</b>	1.056	0.289	0.102
<b>M2</b>	1.960	1.265	0.100
<b>M3</b>	1.445	2.217	0.014
<b>M4</b>	0.218	3.224	0.011
<b>M5</b>	0.060	1.946	0.078
<b>M6</b>	0.039	0.952	0.102
<b>M7</b>	0.044	1.697	0.093
<b>M8</b>	0.096	2.157	0.036
<b>M9</b>	0.060	2.521	0.005
<b>M10</b>	0.097	2.803	0.097
<b>M11</b>	0.323	0.931	0.024
<b>M12</b>	0.435	2.959	0.018
<b>Límites máximos permisibles</b>	<b>50 ppb</b>	<b>10 ppb</b>	<b>0.2 ppb</b>

*Nota.* Fuente: Los Autores.

#### 4.4 Análisis estadístico

Estadísticamente a través de una prueba de hipótesis de una muestra, se comparó las concentraciones de Cr, Pb y Hg con el límite máximo permisible de cada metal, con el fin de corroborar el cumplimiento de la norma ambiental vigente TULSMA-Anexo I.

##### **Cromo**

Para la determinación del cumplimiento de la norma ambiental para el Cromo (Cr) en agua superficial, se procedió a realizar una prueba de hipótesis de una muestra cómo se observa en la tabla 14. Así, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Las concentraciones de cromo son mayores o iguales 50 ppb, representada por  $H_0 \geq 50$

Hipótesis Alternativa (H1): Las concentraciones de cromo son menores a 50 ppb, representada por  $H_1 < 50$

##### **Tabla 14**

*Prueba de hipótesis de una muestra.*

<b>Prueba de hipótesis de una muestra</b>	
<b>Valor de t calculado</b>	2.3627
<b>Grados de libertad (df)</b>	11
<b>Valor p</b>	0.03763
<b>Nivel de significancia</b>	0.05

Estadísticamente (Valor de p  $0.03763 < 0.05$ ), se rechaza (H0), por lo que se demuestra que las concentraciones de cromo en las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite permisible de 50 partes por billón (ppb). Esto indica que, en el área analizada, se cumple con la norma TULSMA.

## Plomo

Asimismo, para la determinación del cumplimiento de la norma ambiental para el Plomo (Pb) en agua superficial, se procedió a realizar una prueba de hipótesis de una muestra cómo se observa en la tabla 15. Así, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Las concentraciones de plomo son mayores o iguales 10 ppb, representada por  $H0 \geq 10$

Hipótesis Alternativa (H1): Las concentraciones de plomo son menores a 10 ppb, representada por  $H1 < 10$

### Tabla 15

*Prueba de hipótesis de una muestra.*

Prueba de hipótesis de una muestra	
Valor de t calculado	7.2797
Grados de libertad (df)	11
Valor p	1.583e-05
Nivel de significancia	0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el software estadístico R-Studio. Fuente: Los Autores.

Estadísticamente, (Valor de p  $1.583e-05 < 0.05$ ), se rechaza (H0), por lo que se demuestra que las concentraciones de plomo en las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite permisible de 10 partes por billón (ppb). Esto indica que, en el área analizada, se cumple con la norma TULSMA.

## Mercurio

Finalmente, para la determinación del cumplimiento de la norma ambiental para el Mercurio (Hg) en agua superficial, se procedió a realizar una prueba de hipótesis de una muestra cómo se observa en la tabla 16. Así, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Las concentraciones de mercurio son mayores o iguales a 0.2 ppb, representada por  $H_0 \geq 0.2$

Hipótesis Alternativa (H1): Las concentraciones de mercurio son menores a 0.2 ppb, representada por  $H_1 < 0.2$

### Tabla 16

*Prueba de hipótesis de una muestra.*

Prueba de hipótesis de una muestra	
Valor de t calculado	5.4089
Grados de libertad (df)	11
Valor p	0.0002138
Nivel de significancia	0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el software estadístico R-Studio. Fuente: Los Autores.

Estadísticamente (Valor de p de  $0.0002138 < 0.05$ ), se rechaza (H0), por lo que se demuestra que las concentraciones de mercurio en las muestras se encuentran por debajo del límite permisible de 0.2 partes por billón (ppb). Esto indica que, se cumple con la norma establecida.

Para realizar la varianza de las concentraciones de metales pesados en los sitios de muestreo, primeramente, se comprobó través de la prueba de Shapiro, que los datos sigan la distribución normal como se logra apreciar en la tabla 17. Así, se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Los datos cumplen la distribución normal, representada por  $N(\mu, \sigma^2)$ .

Hipótesis Alternativa (H1): Los datos no cumplen la distribución normal, es decir, difieren de  $N(\mu, \sigma^2)$ .

**Tabla 17**

*Test de normalidad.*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Ingreso/Salida en la microcuenca del Rio Gualaceño</b>	0.75166	2.039e-06
<b>Nivel de Significancia</b>	0.05	

*Nota.* La prueba se realizó mediante el software estadístico R-Studio. Fuente: Los Autores.

Según los resultados (Valor de p de  $2.039e-06 < 0.05$ ). Por lo tanto, se rechaza (H0) en este caso, lo que indica que los valores no cumplen la normalidad. En consecuencia, se procedió a realizar una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para determinar la varianza de los datos como se logra apreciar en la tabla 18. Así, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Las concentraciones de metales pesados son iguales en todos los puntos del muestreo.

Hipótesis Alternativa (H1): Las concentraciones de metales pesados no son iguales en todos los puntos del muestreo.

**Tabla 18**

*Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.*

<b>Kruskal-Wallis test</b>		
<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>Chi-squared</b>	<b>p-value</b>
<b>Ingreso/Salida en la microcuenca del Río Gualaceño</b>	1.6276	0.8979
<b>Nivel de Significancia</b>	0.05	

*Nota.* La

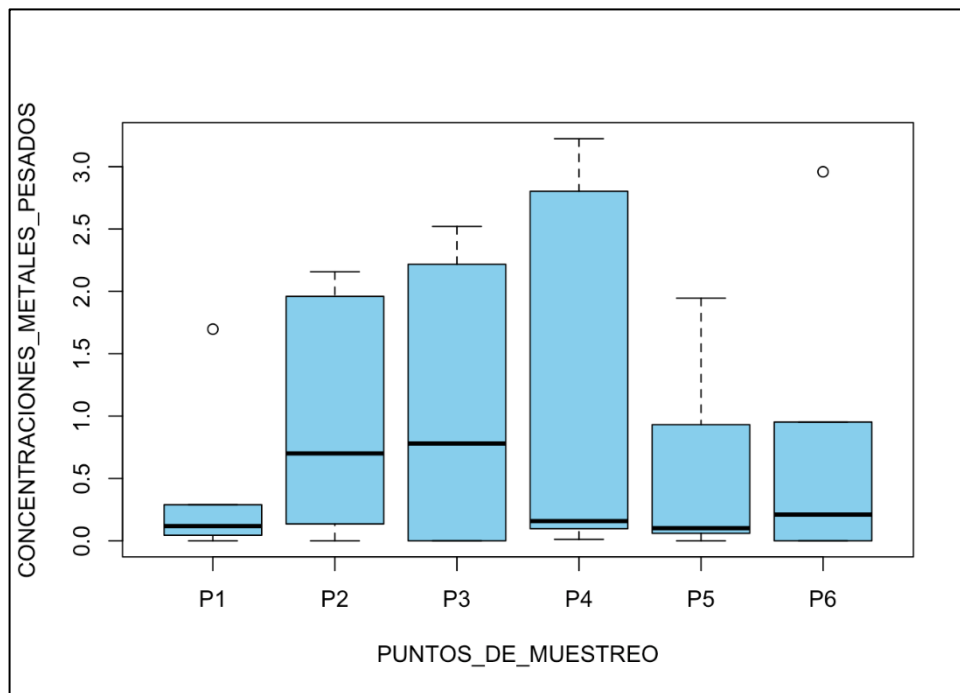
prueba se realizó mediante el software estadístico R-Studio. Fuente: Los Autores.

Con base los resultados (Valor de  $p = 0.8979 > 0.05$ ), se acepta (H0). Es decir, se concluye que no hay diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados entre los puntos de muestreo.

Finalmente, mediante un diagrama de cajas y bigotes se logró apreciar el comportamiento de la distribución de las concentraciones de metales pesados en los puntos de muestreo, como se aprecia en la siguiente figura:

**Figura 4**

*Diagrama de cajas y bigotes metales pesados.*



*Nota.* Fuente: Los Autores.

A través del diagrama de cajas y bigotes se puede observar gráficamente que, en los seis puntos de muestreo, existe un comportamiento similar, respecto a las medianas de los grupos.



## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

##### 5.1.1. Conclusiones microplástico

- En el caso de microplásticos el presente estudio determinó dos sitios representativos de toma de muestra en la microcuenca del río Gualaceño, establecidos con base en los criterios de la norma INEN 2226: 2013, sección 4.1.3.2, referente al plan de muestreo en ríos y afluentes.
- El presente estudio determinó la presencia de microplásticos en la microcuenca del río Gualaceño.
- Se logró cuantificar microplásticos presentes en el recurso hídrico la microcuenca del río Gualaceño, mediante el uso del microscopio invertido de fluorescencia y FTIR, encontrando una concentración promedio de 25 partículas/250 ml, fibras con rangos de tamaño de 6.31  $\mu\text{m}$  hasta 425.78  $\mu\text{m}$  y fragmentos con rangos de tamaño de 6.95  $\mu\text{m}$  hasta 4966.77  $\mu\text{m}$  y predominio de PET, PTFE, PP y Poliamida, siendo el PET el polímero más comúnmente encontrado en las muestras.
- Con relación a microplásticos, la ausencia de una norma ambiental vigente en Ecuador dificulta la comparación de la presencia de estos contaminantes.

##### 5.1.2. Conclusiones metales pesados

- En el caso de metales pesados el presente estudio determinó seis sitios representativos de toma de muestra en la microcuenca del río Gualaceño, establecidos con base en los criterios de la norma INEN 2226: 2013, sección 4.1.3.2, referente al plan de muestreo en ríos y afluentes.

- El presente estudio determinó la presencia de metales pesados (Cr, Pb y Hg) en la microcuenca del río Gualaceño.
- Se logró cuantificar metales pesados Cr, Pb y Hg presentes en el recurso hídrico de la microcuenca del río Gualaceño, mediante el uso del equipo ICP-OES, encontrando concentraciones promedio de 0.51 ppb de Cr, 2.04 ppb de Pb y 0.06 ppb de Hg, corroborando que dichos metales cumplen con los límites de la norma ambiental Vigente TULSMA-Anexo I.
- Con los resultados obtenidos, se concluye que el recurso hídrico del río Gualaceño, presenta un buen nivel de calidad de agua en relación con la concentración de metales pesados Cr, Pb y Hg.
- Finalmente, con base en los resultados generados y el cumplimiento de la norma ambiental, se concluye que las aguas de la microcuenca del río Gualaceño no se encuentran contaminadas.

## **5.2. Recomendaciones**

### **5.2.1. Recomendaciones microplástico**

- Se recomienda ampliar el número de puntos de muestreo en la microcuenca del río Gualaceño, a fin de tener una visión detallada de la presencia de microplásticos en el recurso hídrico.
- Realizar muestreos en diferentes épocas del año, con el fin de determinar la variación de las concentraciones de microplásticos y poder generar inferencias sobre la contaminación del recurso hídrico.
- Se recomienda considerar otros parámetros en relación con la caracterización de microplásticos, con el propósito de generar inferencias sobre el nivel de calidad del recurso hídrico.

### **5.2.2. Recomendaciones metales pesados**

- Se recomienda ampliar el número de puntos de muestreo en la microcuenca del río Gualaceño, a fin de tener una visión detallada del recurso hídrico.
- Se recomienda el uso de la técnica ICP-EOS para el análisis de metales pesados en agua superficial, debido al alta especificidad de detección que posee para una amplia gama de metales pesados.
- Finalmente, se recomienda analizar otros metales pesados y compararlos con la norma ambiental vigente TULSMA, a fin de generar inferencias sobre el nivel de calidad del recurso hídrico.

## REFERENCIAS

REVISION DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA 0 INTRODUCCIÓN. (n.d).  
<https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>

Anzules, Í. D. C. P., & Castro, D. W. M. (2022). Contaminación ambiental. *RECIMUNDO*, 6(2), 93-103.

Armijos Orellana, A. M., & Castillo Castro, J. A. (2022). Detección de microplásticos y metales pesados (Cd, Cr, Hg y Pb) presentes en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca (Bachelor's thesis).

Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-OzoRÍO, B., Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 109-117.

Delgado, C., Bautista, F., Gogichaishvili, A., Cortés, J. L., Quintana, P., Aguilar, D., & Cejudo, R. (2019). Identificación de las zonas contaminadas con metales pesados en el polvo urbano de la Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 81-100.

Hernández, M. V. F., Gamboa, O. A. S., & De Astudillo, L. L. R. (2019). Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(1), 101-114.

INEN, N. T. E. (2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Quito-Ecuador.

Loor, E. A. G., Wilson, J. V. C., Zambrano, H. Y. L., & Mosquera, R. A. C. (2020). Plantas purificadoras: Realidad del agua embotellada en Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 692-705.

Manrique Muñante, R. E. (2019). Microplásticos sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del RÍO Jequetepeque, Perú.

Martínez, P. M., Ortiz-Martínez, V. M., Segado, S. S., Salar-García, M. J., de los RÍOs, A. P., Fernández, F. H., ... & Godínez, C. (2022). Deep eutectic solvents for the extraction of fatty acids from microalgae biomass: Recovery of omega-3 eicosapentaenoic acid. *Separation and Purification Technology*, 300, 121842.

OMS. (2022). Evaluación de la potabilización del agua que consume la población de Yarusyacán capital contrastando con la OMS, los ECAs Nacionales y el Reglamento del agua de consumo humano, febrero-abril 2022.

Orellana Vega, G. Y., & Vivar Tenen, A. P. (2022). Detección de micropartículas de plástico en el sistema de potabilización de agua Tomebamba, Cuenca-Ecuador (Bachelor's thesis).

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18.

Quimbaya, H. C., Martínez, P., & Muñoz, J. (2020). Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del RÍO Magdalena en la ciudad de

Neiva, Colombia. In *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (pp. 2-7). Instituto Antioqueño de Investigación (IAI).

Narváez Chilibingua, J. J. (2022). *Análisis de la calidad de agua y presencia de microplásticos en la parte alta media y baja del río Pumacunchi en la provincia de Cotopaxi, periodo 2022* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Vidal, L., Molina, A., & Duque, G. (2021). *Incremento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano*.

Cruz, R. K. O., & Guzmán, C. I. P. (2022). *Contaminación por microplásticos en agua superficial de la Cuenca del Río Guanajuato*.

Drabinski, T. L., de Carvalho, D. G., Gaylarde, C. C., Lourenço, M. F., Machado, W. T., da Fonseca, E. M., ... & Baptista Neto, J. A. (2023, February). *Microplastics in Freshwater River in Rio de Janeiro and Its Role as a Source of Microplastic Pollution in Guanabara Bay, SE Brazil*. In *Micro* (Vol. 3, No. 1, pp. 208-223). MDPI.

Anglada, S. C. (2020). *DETECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN POR TAMAÑOS DE MICRO Y NANOPLÁSTICOS EN MUESTRAS DE INTERÉS AMBIENTAL*.

Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). *Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición*. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 142-157.

Naspud Mogrovejo, P. V., & Zhiñin Sarango, M. A. (2022). *Evaluación de la contaminación de los microplásticos en las juntas de agua de los cantones: Gualaceo, Chordeleg y Guachapala* (Bachelor's thesis).

Rojo-Nieto, E., & Montoto Martínez, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global.

Aveiga Ortiz, A. M., Banchón Bajaña, C. L., Mendoza Cedeño, L. G., Calderón Pincay, J. M., & Delgado Moreira, M. I. (2022). Distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(3), 13-23.

Tucto, M. A. B., Zambrano, P. V. M., Barba, R. A. A., & Vinueza, X. R. C. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago. *Polo del Conocimiento*, 7(7), 1987-2013.

Loza del Carpio, A. L., & Ccancapa Salcedo, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(1), 33-44.

Esmeraldas Vera, P. K., & Zambrano Zambrano, J. R. (2018). Evaluación de la concentración de mercurio en agua y sedimento en el Río Carrizal (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM).

Román-Ross, G., Cabanilla, C. L., Escandón, L., Cevallos-Cevallos, J. M., Vásquez, W. C., Astudillo, C., & Pinos, M. A. (2020). Contamination of drinking water sources in Azuay Province, Ecuador, with arsenic and lead above permissible limits. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(34), 42949-42960. doi:10.1007/s11356-020-09790-9

Tucto, M. A. B. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, Morona Santiago. [polodelconocimiento.com. https://doi.org/10.23857/pc.v7i7.4328](https://doi.org/10.23857/pc.v7i7.4328)

Baquerizo, M. (2019, 17 julio). Contaminación de los ríos: caso Río Guayas y sus afluentes. Baquerizo | Manglar. <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/118/241>

La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro | Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración. (2017). <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/2437/3053>

David, P. A. R. (2023, 1 marzo). Evaluación de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos de la microcuenca del río Alajua. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37951>

Guerrero, S., Benítez, R. B., Sarria-Villa, R. A., & Corredor, J. A. G. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. una revisión. *Entre ciencia e ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>

Rojos, S. (2019). DINÁMICA DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE, PLOMO, MERCURIO y ARSÉNICO EN SEDIMENTOS DEL RÍO COPIAPÓ, CHILE. <https://www.redalyc.org/journal/370/37062293017/html/>

Pernía, B. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el estero salado, Ecuador. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262061009/html/>

Donoso, C. (2021, 1 agosto). Determinación de microplásticos en la precipitación pluvial urbana de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, periodo 2020-2021. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7818>



Geovanna, Z. C. A. (2022, 1 julio). Evaluación de la contaminación de los microplásticos en las juntas de agua de los cantones: Gualaceo, Chordeleg y Guachapala. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22942>

Castillo López, M. F., Alvarado Jara, L. F. (2022). Evaluación de la contaminación de los microplásticos en las juntas de agua de los cantones: Girón, Santa Isabel, Camilo Ponce Enríquez, Nabón, Oña, Pucará y San Fernando [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental]. Tutora: Bqf. Angélica Geovanna Zea Cobos, Msc. Cuenca - Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22951/1/UPS-CT009995.pdf>

Torres Hidalgo, B. A. (2021). Estudio de los microplásticos como contaminantes emergentes en la cadena productiva alimentaria continental [Tesis de titulación, Química de Alimentos]. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24215>

Patricia, R. T. B. (2020). Microplásticos en la biota de los ríos Andinos. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12051>

Clara, B. P. (s. f.). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100012](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012)

Patricia, R. T. B. (2018). Cuantificación de la presencia de microplásticos en la cuenca alta del río Guayllabamba. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9983>

Alvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benítez, S. (2020). METHOD FOR QUANTIFYING AND CHARACTERIZATION OF MICROPLASTICS IN SAND BEACHES. *Revista Internacional De Contaminacion Ambiental*, 36(1), 151-164. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53540>

Alejandro, T. R. S. (2022, 1 agosto). Análisis de la calidad de agua y presencia de microplásticos en la parte alta media y baja del río Pumacunchi en la provincia de Cotopaxi, período 2022. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9717>

Vidal, L., Sandoval, A., & Duque, G. (2021). Incremento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(2), 113-132. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032>

Wilson, A. M. P. (2022, 1 septiembre). Detección de micropartículas de plástico en el sistema de potabilización de agua Tomebamba, Cuenca - Ecuador. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4575999>

Mindiola, K. (2016). Distribución y abundancia de microplástico en fondos marinos arenosos de tres islas pobladas de Galápagos. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56049>

León-Muez, D. (2020). Primer muestreo de microplásticos en arroyos y ríos de la España Peninsular. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7706079>

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

Arciniégas Suárez, C. A. (2011). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Manizales. Recuperado el 12 de agosto de 2011 (Revisado el 30 de noviembre de 2011) desde [cearsu@yahoo.es](mailto:cearsu@yahoo.es)

Moreno-Rivas, S. C., & Montfort, G. R. (2018). Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *saccharomyces cerevisiae*. *Tip revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21, 51. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.155>

Jyothi, N. R. (2021). Heavy metal sources and their effects on human health. [ideas.repec.org](https://ideas.repec.org/h/ito/pchaps/218836.html). <https://ideas.repec.org/h/ito/pchaps/218836.html>

Aviña, J. C. (2020). Tópicos sobre contaminantes y contaminación del agua-compressed. [https://www.academia.edu/42824558/T%C3%B3picos\\_sobre\\_contaminantes\\_y\\_contaminacion\\_del\\_agua\\_compressed](https://www.academia.edu/42824558/T%C3%B3picos_sobre_contaminantes_y_contaminacion_del_agua_compressed) buap-mx.

Salas-Marcial, C. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562002/html/>

Pérez, A. M. R. (2022, 7 agosto). Microplásticos en el aire, el agua y cada rincón del planeta - territorios sostenibles. *Territorios Sostenibles*. <https://territoriossostenibles.com/calidad-del-aire/microplasticos-en-el-aire-el-agua-y-cada-rincon-del-planeta/>

Gende, L. B. (2023). Las abejas melíferas (*Apis mellifera*) como biomonitores de contaminación ambiental mediada por metales pesados. *Eunk*, 2(1), 3-12.

Delgado, C., Bautista, F., Gogichaishvili, A., Cortés, J. L., Quintana, P., Aguilar, D., & Cejudo, R. (2019). Identificación de las zonas contaminadas con metales pesados en el polvo urbano de la Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 81-100.

Vargas Licon, S. P., & Marrugo Negrete, J. L. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232-242.

Hernández, M. V. F., Gamboa, O. A. S., & De Astudillo, L. L. R. (2019). Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(1), 101-114.

Díaz, O., Recabarren, E., Ward, J., & Villalobos, J. (2019). Metales pesados: aspectos ecológicos y tecnológico-alimentarios.

Aportela, O. G., & Paulino, L. R. M. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 3(2), 32-48.

De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga Torres, B., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 33(1), 21-30.

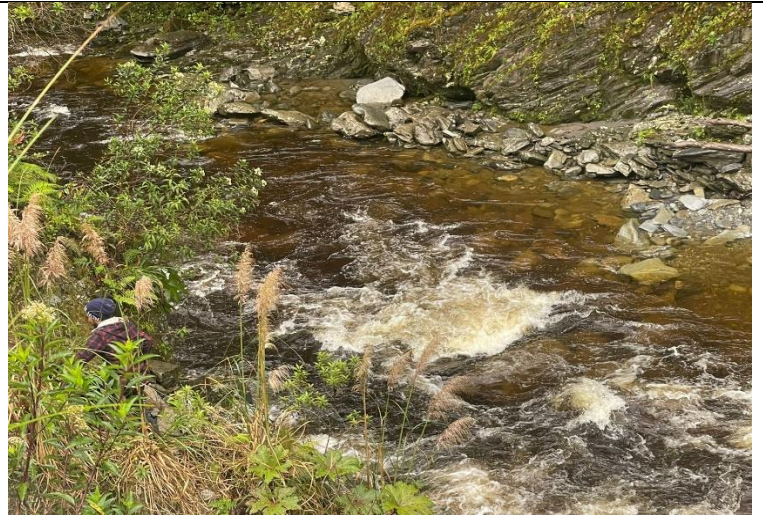
Cuadra, V., Lezcano, R., Bayard, C., Villarreal, J., Robinson-Duggon, J., & Miranda-Montenegro, M. L. (2023). Los microplásticos en el entorno acuático: Un vistazo a la cinética, mecanismo de degradación, impacto ambiental y en la salud humana: Microplastics in the aquatic environment: An overview of kinetics, degradation mechanism, environmental and human health impact. *Vida Natural*. 1(1).

## **ANEXOS**

**Anexo 1:** Toma de muestras en la microcuenca del río Gualaceño.



Entrada de la microcuenca del río Gualaceño.



Salida de la microcuenca del río Gualaceño.

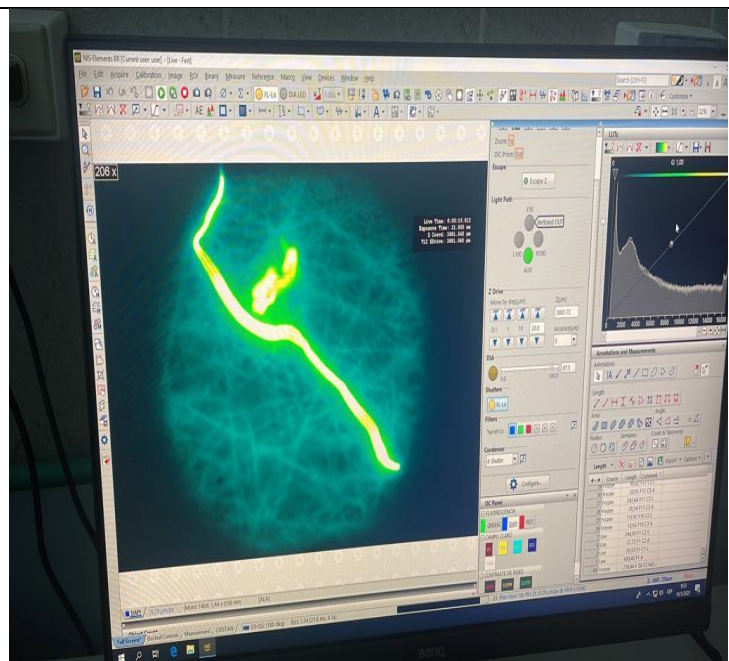


Muestras para análisis de microplásticos.

## Anexo 2: Protocolo descriptivo para microplásticos



Digestión oxidativa.

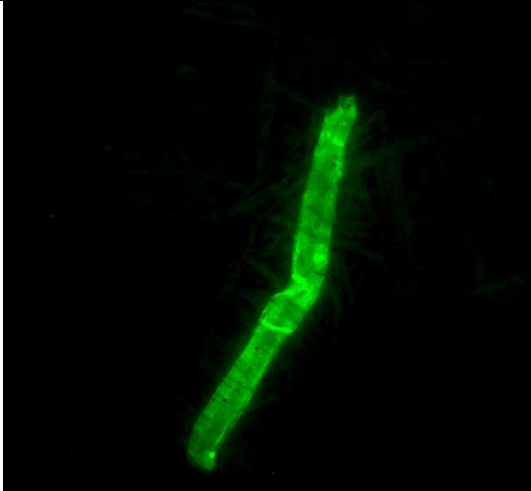
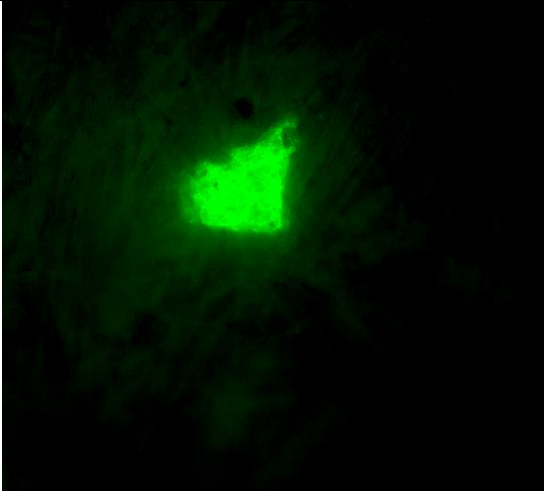
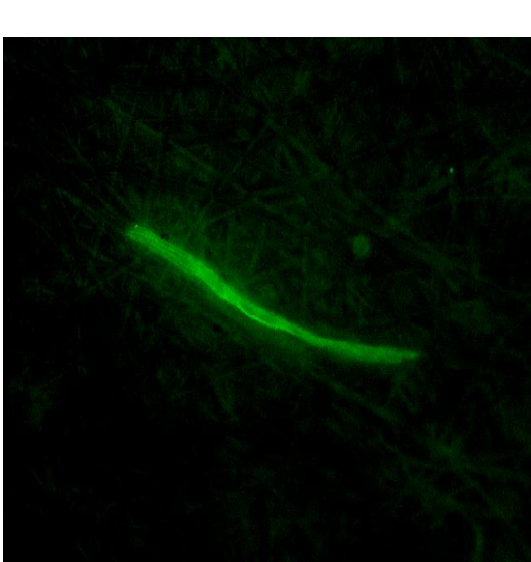
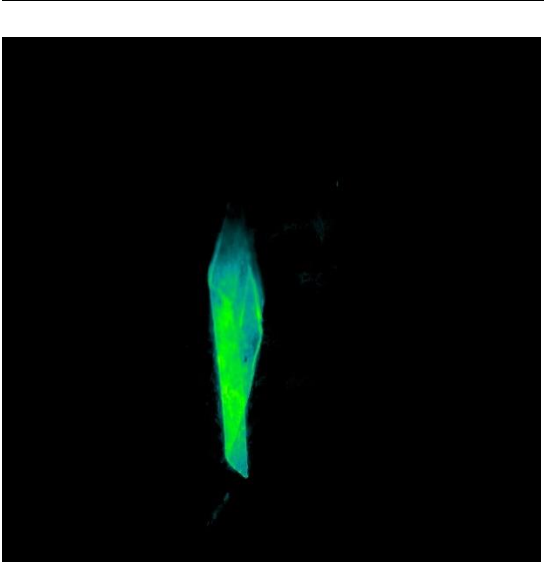


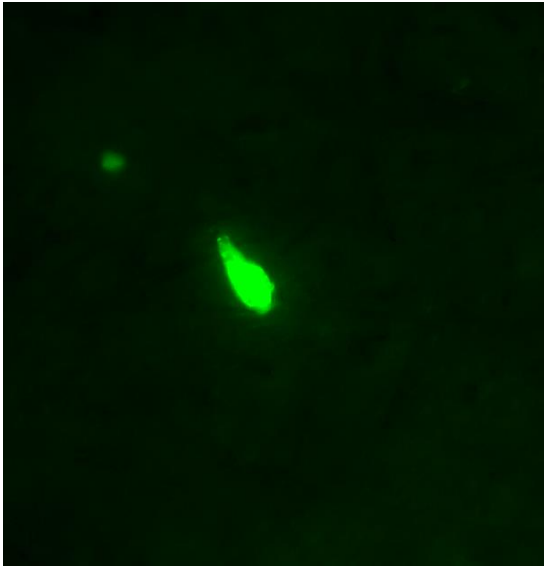
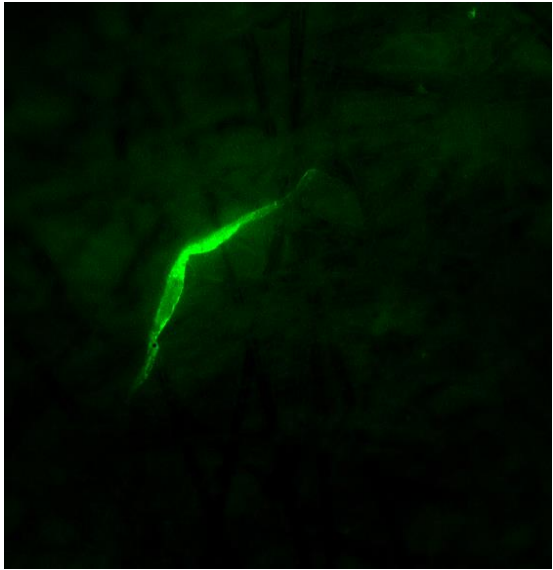
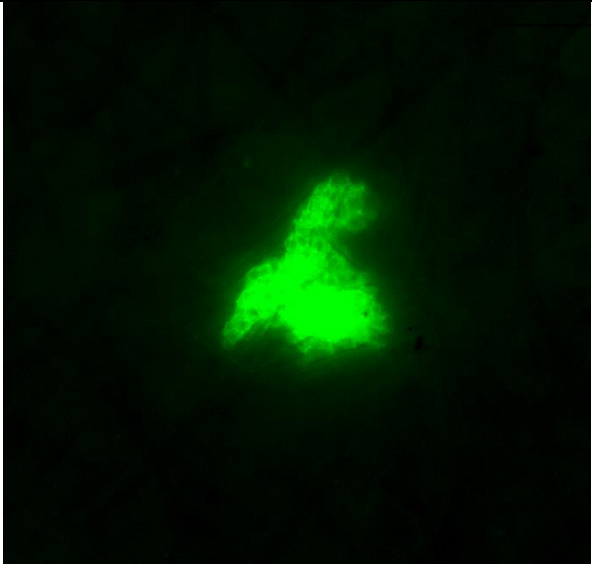
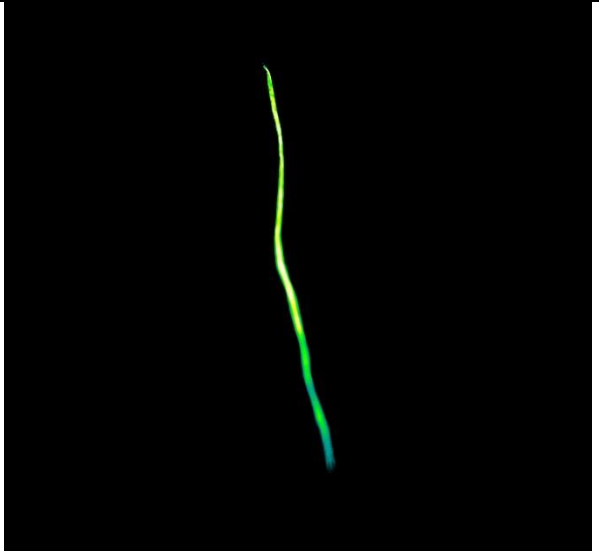
Observación en microscopio invertido de fluorescencia.



Observación de espectros de polímeros FTIR.

**Anexo 3:** Microplásticos en la microcuenca del Río Gualaceño.

<b>Fibras</b>	<b>Fragmentos</b>
<b>ENTRADA DEL RÍO P1</b>	
 A long, thin, green fluorescent fiber with a slightly irregular, segmented appearance, set against a black background.	 A bright green, irregularly shaped microplastic fragment with a somewhat crystalline or angular structure, set against a black background.
 A long, thin, green fluorescent fiber, similar to the one above, but with a more uniform, slightly curved shape, set against a black background.	 A green fluorescent fragment with a more elongated, spindle-like shape and a pointed end, set against a black background.
<b>SALIDA DEL RÍO P6</b>	





**Anexo 4:** Cálculo de muestras por punto de muestreo.

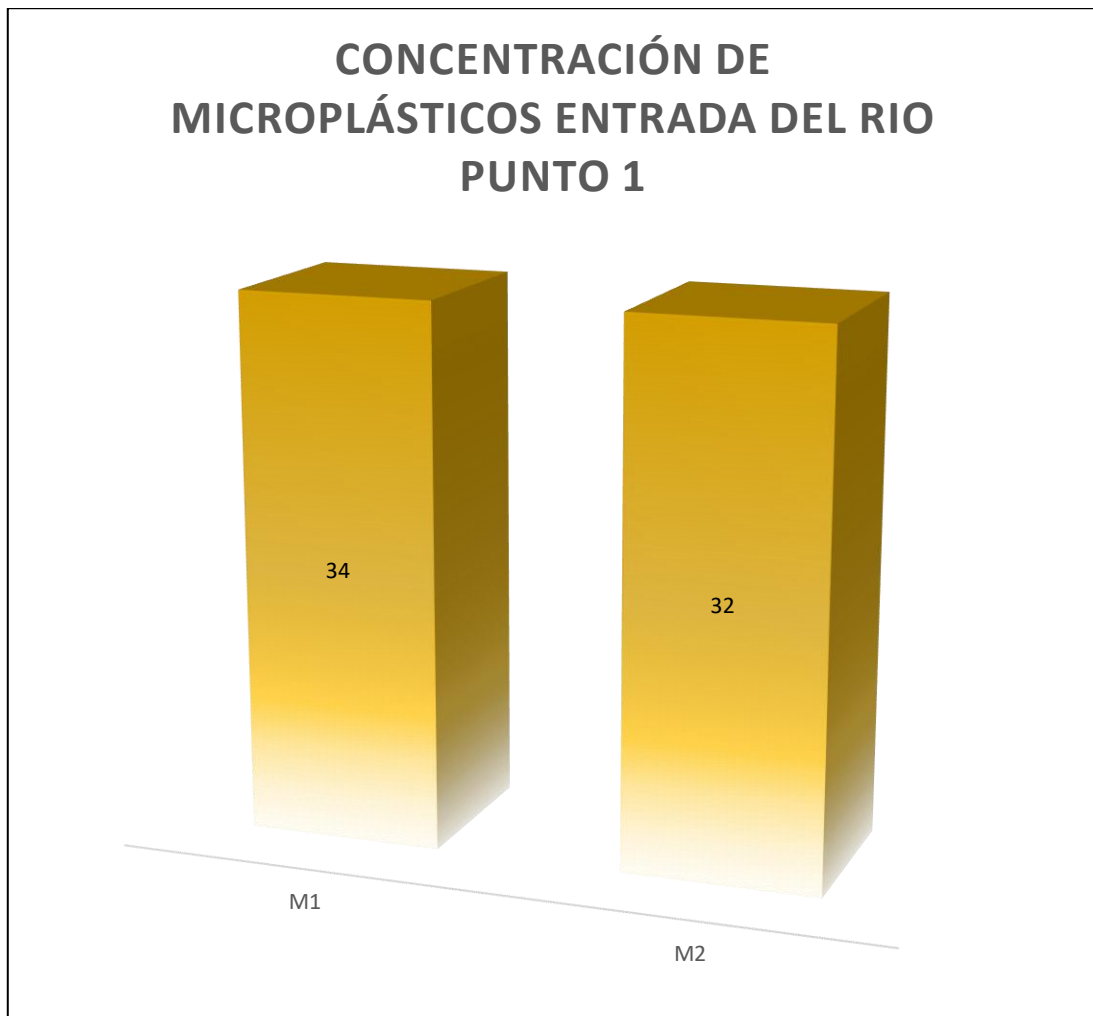
**CÁLCULO DE MUESTRAS POR PUNTO DE MUESTREO**

	<b>Fibras</b>				<b>Total de fibras</b>	<b>Fragmentos</b>				<b>Cantidad total de partículas/250ml</b>	
	<u><b>Cuadrantes</b></u>					<u><b>Cuadrantes</b></u>					
	<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>M1 Abril</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>34</b>
<b>M2 Mayo</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>32</b>
<b>M3 Abril</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>18</b>
<b>M4 Mayo</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>16</b>

Anexo 4.1: Tabla de registro de datos.

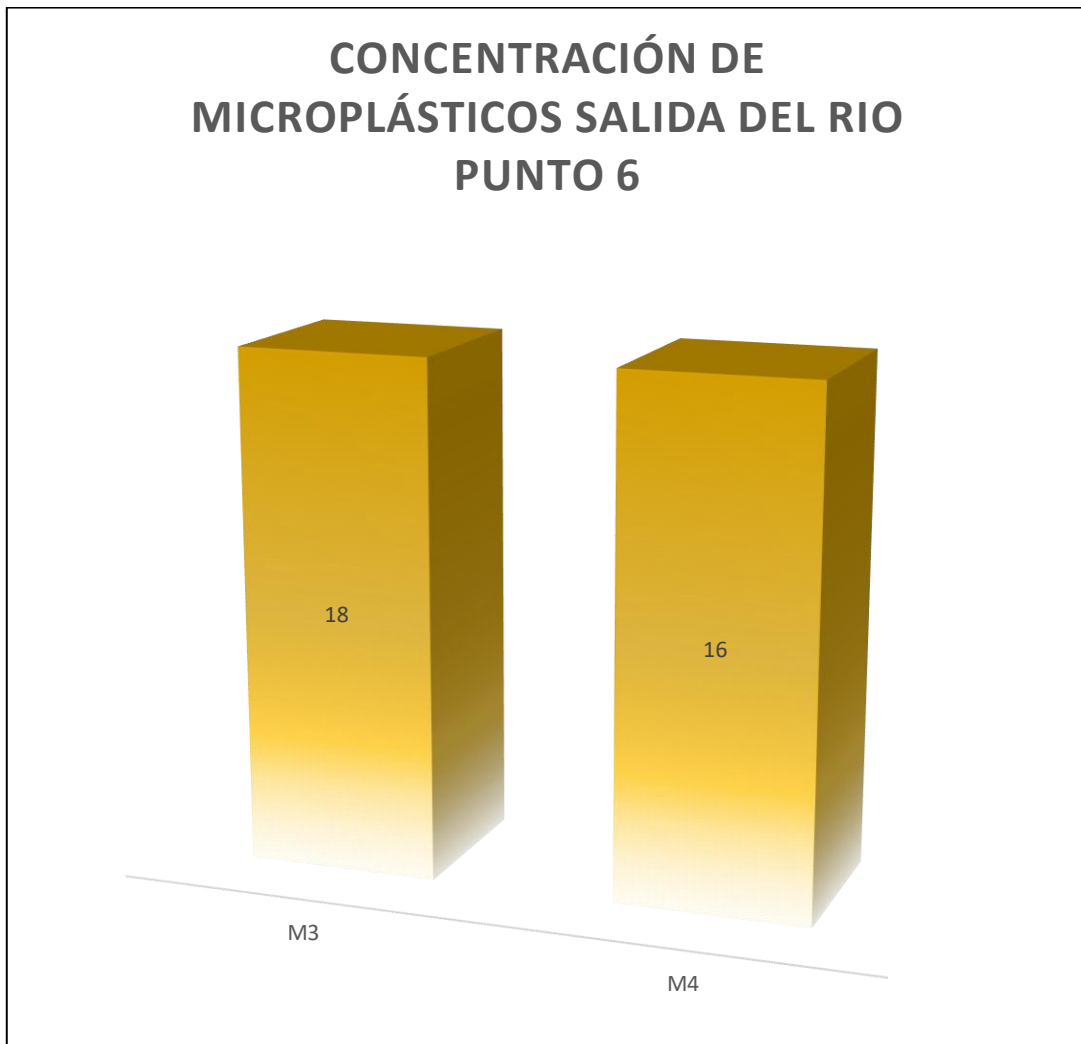
Código de la muestra				Proyecto		
Operario		Organismo		Código del Punto		
Fecha		Hora		Piezómetro		
Origen de la muestra		Captación		Tipo de bomba		
PROCESO DE PURGADO						
Datos de la Captación			Medición del Flujo			
Diámetro (D, cm)			Nivel estático al principio (NEA, m)			
Profundidad (L, m)			Profundidad actual de la bomba			
Nivel estático del agua (NEA, m)			Duración del purgado			
Columna del agua (= L-NEA, m)			Caudal del bombeo (t)			
Volumen inicial en el sondeo (V, L)			Caudal del bombeo (t + 1)			
Bomba para purgado (QP)			Volumen purgado			
Tiempo de purgado (= V/QP)			Nivel dinámica de agua			
Medición del Flujo			Mediciones Químicas en Campo			
Nivel estático al principio			Hora de inicio del muestreo	Temperatura (° C)	CE (µm/cm)	
Profundidad actual de la bomba						
Duración del purgado						
Caudal del bombeo (t)			+ 10 min			
Caudal del bombeo (t + 1)			+ 20 min			
Volumen purgado			+ 30 min			
Nivel dinámica de agua			+ 40 min			
PARÁMETROS IN-SITU						
Temperatura (° C)		pH		EC(µm/cm)		
Olor				Color		
Preparación de muestra para análisis				Profundidad toma muestra (m)		
Oxígeno Disuelto		Nitratos		Mercurio		
Sodio		Flúor		Arsénico		
Carbonato		Bromuro		Cadmio		Níquel
Bicarbonato		Cianuro		Cromo		Plomo
Sulfatos		Fosfato Total		Cobre		Selenio
Cloruros		Hierro		Cobalto		Zinc
OBSERVACIONES						

**Anexo 5:** Concentración de microplásticos en la entrada del río de la microcuenca del Río Gualaceño.

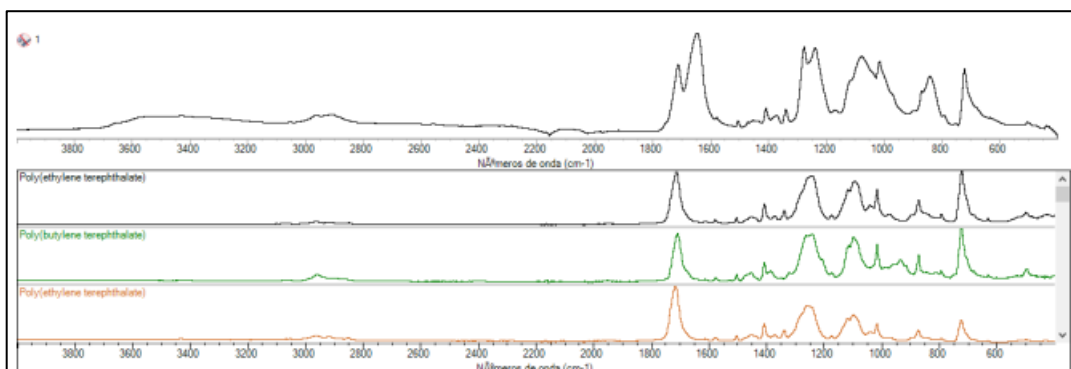


**Anexo 6:** Concentración de microplásticos en la salida del río de la microcuenca del Río

Gualaceño.



**Anexo 7:** Espectros Infrarrojos de partículas de microplásticos en la entrada del río de la microcuenca del Río Gualaceño.

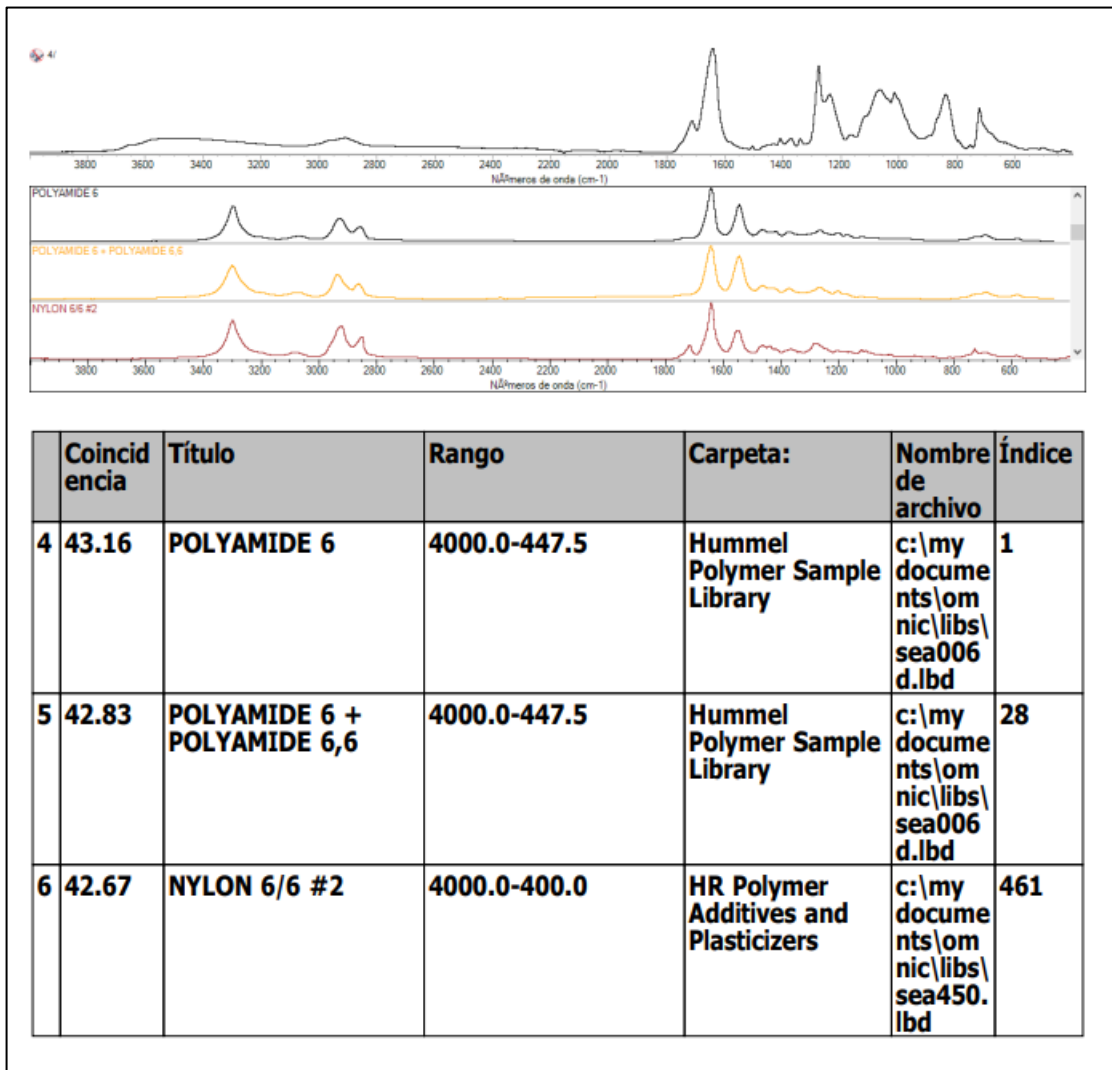


	<b>Coincidencia</b>	<b>Título</b>	<b>Rango</b>	<b>Carpeta:</b>	<b>Nombre de archivo</b>	<b>Índice</b>
<b>1</b>	<b>63.37</b>	<b>Poly(ethylene terephthalate)</b>	<b>4000.0-400.0</b>	<b>HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR</b>	<b>c:\my documents\omnic\libs\sea464.lbd</b>	<b>57</b>
<b>2</b>	<b>56.23</b>	<b>Poly(butylene terephthalate)</b>	<b>4000.0-400.0</b>	<b>HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR</b>	<b>c:\my documents\omnic\libs\sea464.lbd</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>54.81</b>	<b>Poly(ethylene terephthalate)</b>	<b>4000.0-400.0</b>	<b>HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR - corrected</b>	<b>c:\my documents\omnic\libs\sea465.lbd</b>	<b>57</b>

**Reporte**

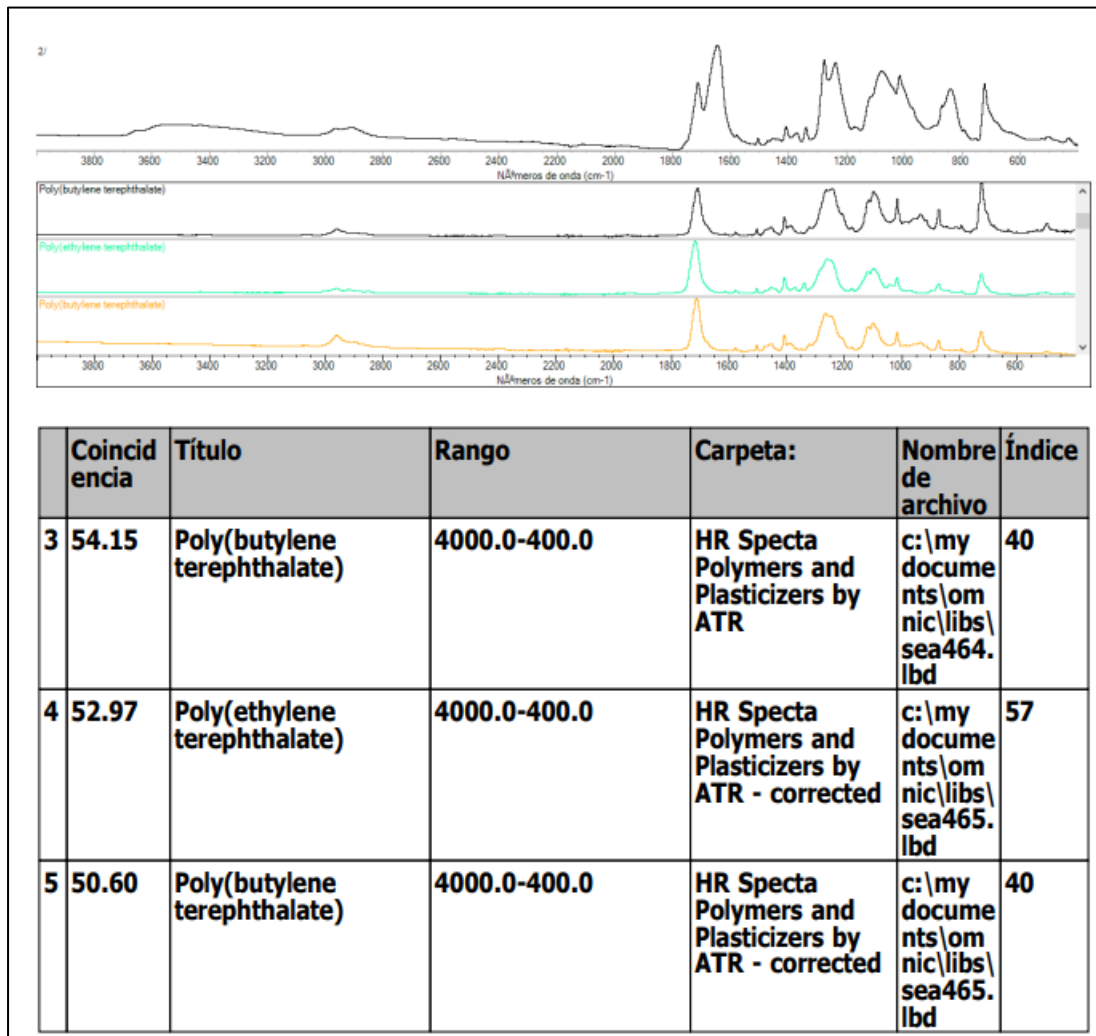
**del punto de muestreo 1 M1.**

**Anexo 8:** Espectros Infrarrojos de partículas de microplásticos en la entrada del río de la microcuenca del Río Gualaceño.



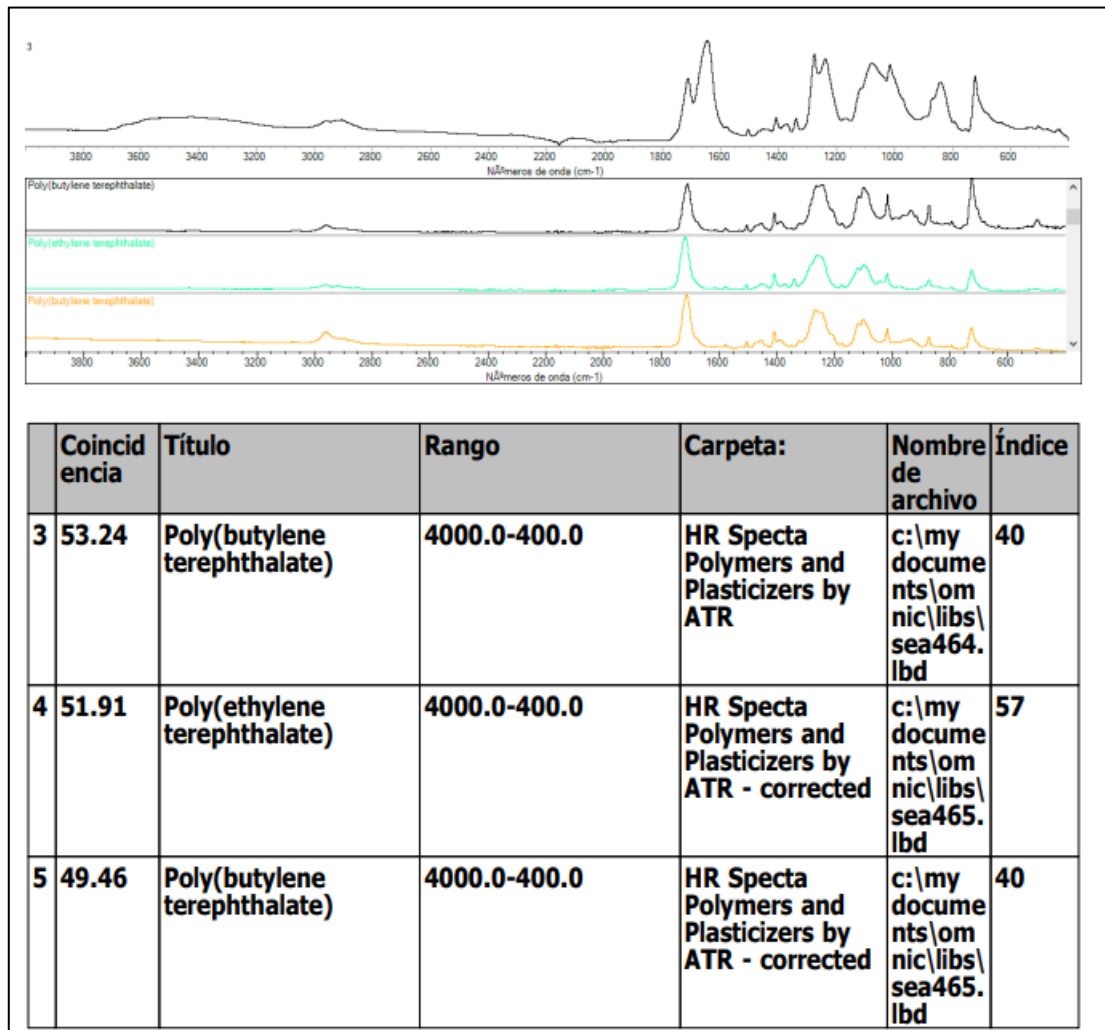
**Reporte del punto de muestreo 1 M2.**

**Anexo 9:** Espectros Infrarrojos de partículas de microplásticos en la salida del río de la microcuenca del Río Gualaceño.



**Reporte del punto de muestreo 6 M3.**

**Anexo 10:** Espectros Infrarrojos de partículas de microplásticos en la salida del río de la microcuenca del Río Gualaceño.



Reporte del punto de muestreo 6 M4



**Anexo 11: Protocolo descriptivo para metales pesados.**



Preparación de muestras de agua.



Preparación de estándares de Cr, Pb y Hg para la generación de curva de calibración.



Corrida de muestras en el equipo ICEP-EOS.

**Anexo 12:** Concentraciones de metales pesados la microcuenca del Río Gualaceño.

## Horizontal Table Report

6/23/2023 6:00:59 PM



LabBook: METALES AGUA RIO 23-06-23.imexp

		Cr 283.563 {119} (Axial)	Pb 220.353 {453} (Axial)	Hg 184.950 {482} (Axial)
6/23/2023 4:47:55 PM	BLC	0.000 ppb	0.000 ppb	0.000 ppb
6/23/2023 4:50:18 PM	STD1	3.666 ppb	16.063 ppb	1.470 ppb
6/23/2023 4:53:15 PM	STD 2	3.377 ppb	39.013 ppb	1.162 ppb
6/23/2023 4:56:04 PM	STD 3	3.615 ppb	55.310 ppb	0.318 ppb
6/23/2023 4:59:06 PM	STD 4	3.994 ppb	72.688 ppb	0.306 ppb
6/23/2023 5:02:00 PM	STD 5	10.637 ppb	37.778 ppb	0.927 ppb
6/23/2023 5:04:54 PM	M1P1	-0.305 ppb	0.289 ppb	0.282 ppb
6/23/2023 5:07:28 PM	M2P1	1.960 ppb	1.265 ppb	1.253 ppb
6/23/2023 5:10:14 PM	M3P1	1.445 ppb	2.217 ppb	1.114 ppb
6/23/2023 5:12:59 PM	M1P2	0.218 ppb	3.224 ppb	1.411 ppb
6/23/2023 5:15:22 PM	M2P2	0.060 ppb	1.946 ppb	0.878 ppb
6/23/2023 5:18:04 PM	M3P2	-0.039 ppb	0.952 ppb	1.662 ppb
6/23/2023 5:20:21 PM	M1P3	0.044 ppb	1.697 ppb	0.093 ppb
6/23/2023 5:22:43 PM	M2P3	-0.131 ppb	2.157 ppb	1.596 ppb
6/23/2023 5:25:05 PM	M3P3	-0.153 ppb	2.521 ppb	-0.168 ppb
6/23/2023 5:27:19 PM	M1P4	0.097 ppb	2.803 ppb	0.497 ppb
6/23/2023 5:29:37 PM	M2P4	-0.011 ppb	0.931 ppb	0.984 ppb
6/23/2023 5:31:51 PM	M3P4	-0.074 ppb	2.959 ppb	-0.305 ppb
6/23/2023 5:34:14 PM	M1P5	-0.096 ppb	0.207 ppb	0.484 ppb
6/23/2023 5:36:45 PM	M2P5	-0.130 ppb	2.472 ppb	-0.387 ppb
6/23/2023 5:39:10 PM	M3P5	0.022 ppb	0.166 ppb	0.868 ppb
6/23/2023 5:41:31 PM	M1P6	-0.435 ppb	2.620 ppb	0.434 ppb
6/23/2023 5:43:50 PM	M2P6	-0.323 ppb	2.003 ppb	2.507 ppb
6/23/2023 5:46:13 PM	M3P6	-0.152 ppb	2.968 ppb	0.166 ppb

Reporte de concentraciones de metales pasados Qtegra.

Anexo 13: Mapa geográfico de la zona de estudio.

