

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS Y SU
RELACIÓN CON LOS MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA
DEL RÍO TAHUANDO”

PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR:

Andrea Estefanía Villegas Tobar

DIRECTOR:

Ing. Jairo Santiago Cabrera García MSc.

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004680631		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Villegas Tobar Andrea Estefanía		
DIRECCIÓN:	Ibarra – La Florida		
EMAIL:	acvillegast@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062632023	TELÉFONO MÓVIL:	0993912080

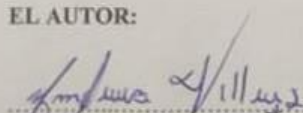
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de la contaminación por plásticos y su relación con los macroinvertebrados en la cuenca del Río Tahuando
AUTOR (ES):	Villegas Tobar Andrea Estefanía
FECHA: DD/MM/AAAA	07 - 06 - 2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	GRADO X POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Santiago Cabrera

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 07 días del mes de junio de 2024

EL AUTOR:


Nombre: Villegas Tobar Andrea Estefanía

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



Ibarra, 07 de junio de 2024

MSc. JAIRO SANTIAGO CABRERA GARCÍA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jairo Santiago Cabrera García', is written over a circular stamp.

(f)

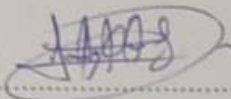
MSc. JAIRO SANTIAGO CABRERA GARCÍA

C.C.: 1003315312

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

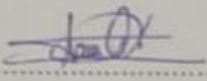


El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS Y SU RELACIÓN CON LOS MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO" elaborado por VILLEGAS TOBAR ANDREA ESTEFANÍA, previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): 

MSc. JAIRO SANTIAGO CABRERA GARCÍA

C.C.: 1003715712

(f): 

MSc. TANIA ELIZABETH OÑA ROCHA

C.C.: 1002364154

DEDICATORIA

Este gran logro obtenido va dedicado principalmente a Dios quien siempre me ha brindado las fuerzas, la sabiduría y sobre todo las ganas para poder salir adelante en cada obstáculo que se me presentaba en mi vida estudiantil

A mi querida madre Rosita quien a diario se ha sacrificado tanto por mí y que siempre estuvo a mi lado apoyándome y brindándome su amor incondicional, ya que gracias a usted he llegado a ser lo que hoy en día soy, siempre me inculco valores para poder convertirme en una buena profesional con buenos principios y buena educación

A mi adorado hermano Darwin que siempre me ha brindado su apoyo y aguantado durante todas las etapas de mi vida, has sido mi principal inspiración para luchar por mis sueños y llegar hasta donde estoy

Y a ti que siempre ocuparas una parte muy importante en mi corazón

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de manera muy especial a mi madre y a mi hermano que han sido un pilar fundamental para llegar a culminar una etapa más en mi vida

A mis docentes, en especial a mi tutor MSc. Santiago Cabrera y asesora MSc. Tania Oña que me impartieron sus conocimientos para un mejor desenvolvimiento académico, gracias por la confianza y paciencia

A mis amigos y familiares en general que con una palabra de apoyo me ayudaron a poder sobrellevar las situaciones complicadas de mi vida académica

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2 Problema de investigación	3
1.3 Justificación de investigación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5 Pregunta (s) directriz (ces) de la investigación	5
1.6 Hipótesis	5
CAPÍTULO II.....	6
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1 Plásticos	6
2.1.1 Propiedades de los plásticos.....	6
2.1.2 Clasificación de desechos plásticos	7
2.1.2.1 Macroplásticos	7
2.1.2.2 Microplásticos.....	7
2.2 Contaminación de desechos plásticos en ecosistemas acuáticos	9
2.3 Presencia de microplásticos en el agua.....	9
2.4 Degradación ambiental de los microplásticos.....	10
2.5 Macroinvertebrados	11
2.7 Efectos de los plásticos en la salud humana	12
2.2 Marco legal	13
CAPÍTULO III.....	14
3. METODOLOGÍA.....	14

3.1 Descripción y principales características de la zona de estudio.....	14
3.2 Métodos de muestreo	15
3.2.1 Identificación y codificación de los puntos de muestreo	15
3.2.2 Determinación de la abundancia y distribución de macroplásticos en las zonas de ribera y el cuerpo de agua del río Tahuando en base a las presiones antrópicas y características ambientales.	16
3.2.3 Determinación de la abundancia y distribución de microplásticos en el río Tahuando en base a sus características hidromorfológicas y niveles de perturbación.	17
3.2.4 Evaluación de la densidad de plásticos y su relación con la fauna acuática (macroinvertebrados) a nivel espacio temporal.	19
3.3 Análisis estadístico.....	20
3.4 Materiales y equipos	20
CAPÍTULO IV.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1 Determinar la abundancia y distribución de macroplásticos en las zonas de ribera y el cuerpo de agua del río Tahuando en base a las presiones antrópicas y características ambientales.	22
4.1.1 Puntos de muestreo	22
4.1.2 Actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca hidrográfica del río Tahuando	23
4.1.2 Abundancia y distribución de macroplásticos	24
4.1.3 Tipos de macroplásticos identificados en los sitios de monitoreo	25
4.1.3 Cuantificación de macroplásticos	26
4.2 Determinar la abundancia y distribución de microplásticos en el río Tahuando en base a sus características hidromorfológicas y niveles de perturbación.	29
4.2.1 Características hidromorfológicas de acuerdo con el índice CERAS.....	29
4.2.2 Cuantificación de microplásticos	31
4.2.3 Identificación de desechos microplásticos en la ribera y agua del río	32
4.2.4 Relación de abundancia y distribución de macroplásticos y microplásticos.	37

4.3 Evaluar la densidad de plásticos y su relación con la fauna acuática (macroinvertebrados) a nivel espacio temporal.....	38
4.3.1 Índices biológicos de macroinvertebrados.....	38
4.3.2 Análisis estadístico entre macroinvertebrados y abundancia de macroplásticos y microplásticos.....	46
CAPÍTULO V.....	48
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1 Conclusiones.....	48
5.2 Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas WGS 198 UTM de los puntos de muestreo en el área de estudio.....	15
Tabla 2 Rangos de índices ABI y BMWP-Col para determinar el estado natural del agua del río	19
Tabla 3 Materiales y equipos utilizados para las salidas de campo	20
Tabla 4 Actividades antrópicas y calidad hidromorfológica de acuerdo al índice CERAS de los sitios de monitoreo	24
Tabla 5 Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera y agua del río en el punto de monitoreo SANT1	26
Tabla 6 Macroplásticos recolectados en la orilla del río en el punto de muestreo ZUL2.....	27
Tabla 7 Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera del río en el sitio de muestreo ZUL3.....	28
Tabla 8 Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera del río en el sitio de muestreo ANG1	28
Tabla 9 Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera del río en el sitio de muestreo TEJ1	28
Tabla 10 Descripción de características hidromorfológicas de la cuenca del río Tahuando ..	29
Tabla 11 Abundancia de macroinvertebrados recolectados en el río Tahuando.....	39
Tabla 12 Estado actual del agua según los índices biológicos ABI y BMWP-Col en relación con macroinvertebrados	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Pirámide de Kelsen que detalla los artículos que intervienen en el cuidado de los ecosistemas acuáticos.....	13
Figura 2 Localización de la cuenca hidrográfica del río Tahuando.....	14
Figura 3 Delimitación y ubicación del área del muestreo.....	16
Figura 4 Microplásticos existentes en la orilla, ribera y agua del río Tahuando	18
Figura 5 Identificación de los sitios de muestreo de la cuenca hidrográfica del río Tahuando	22
Figura 6 Abundancia y distribución de macroplásticos en los puntos de muestreo de la cuenca del río Tahuando	25
Figura 7 Tipos de macroplásticos recolectados en los puntos de monitoreo del río Tahuando	25
Figura 8 Abundancia y distribución de fragmentos plásticos en la ribera y agua del río Tahuando.....	32
Figura 9 Tipos de microplásticos recolectados en la cuenca hidrográfica del río Tahuando	33
Figura 10 Fibra microplástica encontrada en el punto de muestreo SANT1	33
Figura 11 Fragmento microplástico encontrado en el punto ZUL1.....	34
Figura 12 Fragmento microplástico encontrado en el punto ZUL2.....	35
Figura 13 Fibra microplástica encontrada en el punto ZUL3	35
Figura 14 Fibra microplástica encontrada en el suelo y agua del punto ANG1	36
Figura 15 Fibra microplástica ubicada en el suelo y agua del punto TEJ1.....	37
Figura 16 Mapa de abundancia y distribución de macroplásticos y microplásticos en el río Tahuando.....	37
Figura 17 Abundancia porcentual de macroinvertebrados recolectados en las zonas de muestreo del río Tahuando.....	40
Figura 18 Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto SANT1 del río Tahuando	41
Figura 19 Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ZUL1 del río Tahuando	41
Figura 20 Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ZUL2 en el río Tahuando	42
Figura 21 Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ZUL3 en el río Tahuando	42

Figura 22 Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ANG1 en el río Tahuando	43
Figura 23 Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto TEJ1 en el río Tahuando	43
Figura 24 Indicadores biológicos BMWP-Col y ABI en relación con abundancia de macroplásticos.....	45
Figura 25 Indicadores biológicos BMWP-Col y ABI en relación con abundancia de microplásticos	45
Figura 26 Análisis de componentes principales entre las variables ambientales y desechos plásticos.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Protocolo CERAs para determinar la calidad hidromorfológica de ecosistemas acuáticos.....	54
Anexo 2 Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica del río Tahuando.....	57
Anexo 3 Mapa de puntos de ubicación del río Tahuando.....	58
Anexo 4 Mapa de abundancia de macroplásticos y microplásticos en el río Tahuando.....	59
Anexo 5 Macroplástico (botella) encontrada en los puntos de muestreo	60
Anexo 6 Macroplástico (funda) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando.....	61
Anexo 7 Macroplástico (vaso) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando.....	62
Anexo 8 Macroplástico (manguera) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando	63
Anexo 9 Macroplástico (costal) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando	64
Anexo 10 Macroplástico (cuchara) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando	65
Anexo 11 Guía de microplásticos recolectados en la cuenca hidrográfica del río Tahuando	66
Anexo 12 Macroinvertebrados recolectados e identificados en la cuenca hidrográfica del río Tahuando.....	68
Anexo 13 Análisis estadístico ANOVA en relación con la abundancia de macroplásticos en los puntos de muestreo	69

RESUMEN

El plástico es el material más aprovechado en la Tierra, convirtiéndose en el principal contaminante de los ecosistemas hídricos debido a su versatilidad y durabilidad, se obtienen fragmentos microplásticos que se esparcen a través del agua, volviéndose disponibles e indigeribles por animales acuáticos. Los macroinvertebrados son organismos que desempeñan un papel fundamental en los hábitats acuáticos, se utilizan como bioindicadores que evalúan la calidad de agua. Para la recolección de macroplásticos y microplásticos en la zona de la ribera, se utilizó un transecto de 100m de largo y 3m de ancho, se recolectaron residuos de tamaño superior a 5mm para luego ser medidos y pesados, mientras que para la recolección de microplásticos se utilizó un cuadrante de 40x40cm en el que se recolecto sedimento en frascos de vidrio para el posterior análisis en laboratorio tanto de macroplásticos como microplásticos. La recolección de macroinvertebrados se realizó mediante red manual durante 5 minutos, utilizando la técnica de patada para remover el sedimento que sirve como hábitat de los animales acuáticos que serán analizados en un estereoscopio en el laboratorio. Se logró determinar que existen 163 plásticos procedentes de actividades antrópicas del río Tahuando y 1023 macroinvertebrados, determinando que la naturaleza del agua se encuentra en malas condiciones.

Palabras claves: Macroplásticos; microplásticos; macroinvertebrados acuáticos; índices biológicos; ecosistemas fluviales.

ABSTRACT

Plastic is the most exploited material on Earth, becoming the main pollutant of water ecosystems due to its versatility and durability, microplastic fragments are obtained and spread through the water, becoming available and indigestible by aquatic animals. Macroinvertebrates are organisms that play a fundamental role in aquatic habitats and are used as bioindicators that assess water quality. For the collection of macroplastics and microplastics in the riparian zone, a transect 100m long and 3m wide was used to collect debris larger than 5mm to be measured and weighed, while for the collection of microplastics a 40x40cm quadrat was used to collect sediment in glass jars for subsequent laboratory analysis of both macroplastics and microplastics. Macroinvertebrates were collected by hand netting for 5 minutes, using the kicking technique to remove the sediment that serves as habitat for the aquatic animals that will be analyzed under a stereoscope in the laboratory. It was determined that there are 163 plastics from anthropogenic activities in the Tahuando River and 1023 macroinvertebrates, determining that the nature of the water is in poor condition.

Key words: macroplastics; microplastics; aquatic macroinvertebrates; biological indices; river ecosystems.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte

Para Gil-Marín et al. (2018) las actividades antrópicas debido al crecimiento poblacional han afectado directamente la naturaleza del agua de los ríos. Los indicadores de calidad de agua son un elemento fundamental para determinar la cantidad de contaminación que existe en los ecosistemas hídricos. El agua es un capital natural indispensable para la vida del planeta Tierra, conservar sus condiciones de salubridad en un entorno de calentamiento global y ante las amenazas antrópicas resulta un tema importante para determinar las condiciones actuales y futuras del agua. La calidad biológica es indispensable para el desarrollo e interacción de microorganismos o fauna acuática en condiciones naturales, siendo afectada por materiales no biodegradables que son provenientes de los sectores agrícolas y ganaderos, provocando un deterioro en la parte baja del río (Montoya et al., 2019).

Según Pauta et al. (2019) la primordial fuente de contaminación en los ríos ecuatorianos son las aguas residuales, procedentes de las cabeceras parroquiales de cada sector, no solo afectan el agua de los cuerpos en que desemboca, sino también de los suministros subterráneos, las sustancias que se ubican en el río ya sea de origen natural o incluido por el hombre se convierten en contaminantes conservativos y no conservativos (Pauta et al., 2019). La presencia o ausencia de cada sustancia determina la intensidad de contaminación física, química y biológica causando un desequilibrio en los seres vivos acuáticos. La disposición que tienen los ríos de poder regenerarse naturalmente, se basan en la capacidad de poder restituirse de forma natural a las condiciones iniciales con procesos de autodepuración (Quiroz et al., 2017).

El origen de los plásticos se debe al excesivo consumo de productos directos e indirectos de los seres humanos, provocando consecuencias negativas en el ambiente, en especial en los ecosistemas hídricos que son los más vulnerables a este tipo de partículas. Es comprobado que los microplásticos se localizan en individuos marinos (Acosta et al., 2022). Los plásticos se consideran uno de los principales representantes de los impactos sociales humanos, las comunidades frágiles soportan de forma desmesurada los efectos de la degradación ambiental ocasionada por los macroplásticos, desde la fabricación hasta su disposición final (Castañeda et al., 2020). Los microplásticos por su origen se reparten en primarios y secundarios, los primarios poseen dimensiones menores a 5 mm, siendo

principalmente procedentes de la industria, mientras que de origen secundario son el resultado de degradación y fragmentación de macropásticos, especialmente en los océanos por efecto del sol y las mareas (Acosta et al., 2022).

Un estudio realizado durante 10 años por Ecuador en conjunto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) para determinar cuál es la incidencia de los fragmentos plásticos en el Océano Pacífico Tropical Oriental que se desplaza desde el sur de México hasta el norte de Perú (Orayeva, 2020). Los océanos son entorno de varias especies en peligro de extinción y sobre todo de reservas marinas que se encuentran dentro de tratados internacionales para el cuidado de estos sitios, las investigaciones han logrado identificar que la contaminación por microplásticos en aguas marinas aumentará debido al crecimiento poblacional y el consumismo (Sánchez, 2018). Estos desechos forman parte de cadena alimentaria de los organismos marinos, no solo provienen de forma local, sino que también viajan de otras regiones por las corrientes de agua, provocando que los organismos marinos mueran por una exagerada debilidad física (Muriel, 2020).

El descontrol de los desechos plásticos por acción industrial y doméstica en los ecosistemas acuáticos son el principal punto de concentración después de su descarga, eliminan propiedades tanto físicas como químicas en el agua y realizan cambios notorios en la biota (Pedraza Peña & Medina Delgado, 2021). Las cifras que llegan al mar cada vez son más inquietantes, se genera la acumulación de plásticos en los océanos por las diversas corrientes marinas, llegando alcanzar miles de metros cúbicos, actualmente hasta el 90% de la basura marina son plásticos (Arrianza et al., 2017). El crecimiento de los plásticos en los últimos 65 años ha sobrepasado cualquier otra actividad antropogénica con un total de 359 millones de toneladas, para el año 2025 la población urbana generará 6 millones de toneladas diarias aumentando los desechos plásticos (Lacerot et al., 2020).

Entre los efectos nocivos causados por los microplásticos se encuentra la alteración del metabolismo, decrecimiento de alimento por daños intestinales, indicando el interés de realizar medidas de protección inmediata para los ambientes acuáticos (Sáenz, 2020). Se ha generado un interés comunitario para disminuir los plásticos por sus afectaciones a la salud humana, animal y sobre todo el agua, con un enfoque global para mitigar los impactos de contaminación utilizando técnicas de reciclaje antes de ser desechados (Durán, 2020).

1.2 Problema de investigación

El aumento de residuos plásticos en el ambiente, principalmente en el mar, y la presencia de productos plásticos en formas microscópicas, además de ser preocupante ambientalmente es un dilema desde el enfoque de seguridad alimentaria, los plásticos pueden integrarse en redes nutricionales, por lo tanto, estar presentes en los alimentos para el consumo humano (Robares, 2019). Entre los principales efectos de contaminación en el agua, se destacan, deterioro de la biodiversidad y polución en la cadena alimentaria, las sustancias tóxicas se proliferan a los alimentos y la escasez de agua de consumo humano (Arrianza et al., 2017).

Dado el gran volumen de plástico que llega a las rutas fluviales y el hecho de que una gran porción de los desechos se almacena en sedimentos con diversos tamaños y composiciones, afectando principalmente a los animales acuáticos (Sánchez, 2018). La ingestión de plásticos libera toxinas y reduce la efectividad de procesos fisiológicos, lo que representa un riesgo de muerte ya sea directa o indirectamente (Elías, 2015). Durante un período de 10 a 15 años, las tortugas marinas, 54 % de mamíferos y 56 % de aves estuvieron expuestos a estos contaminantes plásticos en su contenido estomacal (Quiñones, 2021). La existencia de microplásticos en el suelo causa problemas a las lombrices de tierra haciendo que pierdan hasta un 3% de su peso corporal teniendo un impacto negativo en la agricultura, que es crucial para la soberanía alimentaria (Rivas & Ornela, 2021).

La escasez de educación ambiental, desinformación ecológica y el incremento de la densidad poblacional en el sector rural y urbano, han llevado a la disminución de la capacidad hídrica y las funciones de los servicios ecosistémicos. En cuestión de días, los plásticos pueden infectar los embalses y afectar las rutas de navegación y pesca, pero lo más importante, pueden obstruir los canales de riego y redes hidráulicas restringiendo la llegada de luz y oxígeno, provocando una evaporación excesiva del agua (Morábito et al., 2017). La contaminación plástica puede provocar el bloqueo de las técnicas de refrigeración y las hélices en la producción de energía, lo que perjudica el crecimiento de acuicultura y reduce el valor decorativo.

1.3 Justificación de investigación

Los nutrientes transportados por ríos y cuerpos hídricos sustentan los bosques, humedales y otros ambientes terrestres, transformándolos en hábitat de una gran cantidad de

especies de agua dulce, por lo que es de vital interés examinar el agua de los ríos para verificar el índice de contaminación que poseen (Mendoza-Cariño et al., 2014). Los ríos constituyen un sistema circulatorio lineal, moviendo fluidos y sedimentos mediante la topografía de las cuencas hídricas. Desarrollan complejas reacciones químicas y biológicas con el objetivo de sustentar diferentes formas de vida a lo largo de su recorrido. La perturbación y polución de los ríos puede modificar el curso habitual del ciclo hidrológico del agua, ocasionando graves perturbaciones en los procesos de equilibrio, el clima terrestre y la protección de diversos ecosistemas (Díaz & Torres, 2015).

Los plásticos se producen en todo el mundo y la demanda sigue creciendo, en el año 2008, la fabricación global de plástico incrementó de 1,5 millones a 245 millones de toneladas. Cualquier actividad humana en el océano y en la tierra puede conducir a la generación de basura marina, por lo que los desechos plásticos pueden ingresar al océano directamente a través de otros cuerpos de agua o la atmósfera (Castañeda et al., 2020). Debido a este enigma en la cuenca hidrográfica del Río Tahuando, el estudio tiene como objetivo comprender la repercusión de la contaminación plástica en la biota del ecosistema acuático en el que las actividades antrópicas han provocado la pérdida de la condición ecológica y natural del río.

El río Tahuando en el área urbana de sur a norte ha terminado con su riqueza natural, debido a la mala gestión de las descargas de aguas residuales y sobre todo el incremento de residuos sólidos en las orillas del río, provocando impactos ambientales negativos en las riberas y en los habitantes de las comunidades aledañas, la principal característica del estudio es el diagnóstico del estado del río Tahuando a través de la contaminación plástica con enfoques ecológicos y sociales, para poder determinar las posibles consecuencias de dichos contaminantes en los seres humanos, agua, suelo y especialmente en la fauna acuática (Rivas & Ornela, 2021).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar la contaminación por plásticos y su relación con los macroinvertebrados en la cuenca del Río Tahuando.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar la abundancia y distribución de macroplásticos en las zonas de ribera y el cuerpo de agua del río Tahuando en base a las presiones antrópicas y características ambientales.
- Determinar la abundancia y distribución de microplásticos en el río Tahuando en base a sus características hidromorfológicas y niveles de perturbación.
- Evaluar la densidad de plásticos y su relación con la fauna acuática (macroinvertebrados) a nivel espacio temporal.

1.5 Pregunta (s) directriz (ces) de la investigación

- ¿Cuáles son las áreas del río Tahuando con mayor contaminación por plásticos?
- ¿Cuáles son las zonas del río que tienen mayor influencia del plástico en la diversidad de macroinvertebrados?
- ¿Cómo afecta los plásticos en la presencia de macroinvertebrados?

1.6 Hipótesis

- H0: La densidad y abundancia de macro y microplásticos es similar a lo largo del Río Tahuando y sus zonas de rivera.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Plásticos

El término plástico procede del griego *plastikos*, hace alusión a compuestos orgánicos que se encuentran creados principalmente por carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), cloro (Cl), silicio (Si), nitrógeno (N) y fósforo (P) (Santillán, 2018). Es un material cuyo constituyente básico son los polímeros que pueden ser orgánicos y sintéticos, mientras que en su estado final pueden presentarse como sólidos y en alguna fase de su producción se transformaron en fluidos (Piatti & Ferreira, 2005). Según Arcos & Marín (2021) mencionan que la principal desventaja de los plásticos es que no son biodegradables y para su eliminación es necesario el proceso de incineración que causa serios problemas ambientales debido a la contaminación del aire y el deterioro de la capa de ozono por el incremento de gases de efecto invernadero. Una ventaja significativa es que las resinas plásticas pueden combinarse fácilmente con otro tipo de sustancias para generar nuevas propiedades en diferentes aplicaciones (Piatti & Ferreira, 2005).

2.1.1 Propiedades de los plásticos

Según García (2021) menciona que, debido a la gran variedad de plásticos, es difícil generalizar sus propiedades por su fácil producción y su bajo costo, siendo uno de los productos más comercializados en el ámbito social. Sus principales propiedades son las siguientes:

- **Conductividad eléctrica:** el plástico es un mal conductor de electricidad, por lo que se puede utilizar como aislante eléctrico.
- **Conductividad térmica:** tienen poca conductividad térmica, es decir transfieren el calor muy lentamente.
- **Resistencia química:** los plásticos son muy buenos resistentes en la agresión de químicos como ácidos.
- **Combustibilidad:** en su gran mayoría los plásticos arden con facilidad por su composición de hidrógeno y carbono.
- **Plasticidad:** mediante el calor presentan buena maleabilidad permitiendo crear nuevos objetos.

- **Resistencia mecánica:** resultan bastante resistentes debido a su peso ligero, siendo utilizados en aleaciones metálicas.

2.1.2 Clasificación de desechos plásticos

Los plásticos pueden dividirse en tres categorías principales: elastómeros, termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos son los desechos plásticos más comunes porque sus macromoléculas se colocan libremente sin entrelazarse permitiendo el ablandamiento del material mediante el calor para lograr la forma deseada. Los termoestables son aquellos cuyas macromoléculas son capaces de cruzarse para formar una red de malla cerrada, lo que evita cambios en su forma debido al calor o la presión. Sin embargo, los elastómeros se agrupan en formar una figura de red de malla con eslabones diminutos, esta ubicación accede la producción de plásticos con propiedades elásticas capaces de recuperar la forma y dimensión original (Piatti & Ferreira, 2005).

2.1.2.1 Macroplásticos

Para Castañeda et al. (2020) los objetos de plástico grandes $< 5\text{mm}$ se conocen como macroplásticos, aparecen mediante la segmentación de objetos con un gran tamaño como botellas, bolsas, envases, juguetes y otros productos plásticos de uso frecuente, estos fragmentos plásticos podrían permanecer en el medio ambiente durante siglos. Los macroplásticos son un tipo notable de contaminación plástica que se puede encontrar en una variedad de entornos, incluidas playas, ríos, océanos y áreas urbanas. Debido a que los animales pueden ingerir, enredarse o verse afectados negativamente por estos desechos plásticos, representando una amenaza para ecosistemas hídricos y la vida marina (Cabrera-García et al., 2023).

La reducción de macroplásticos y otros residuos plásticos es un desafío importante que exige la adopción de buenos procedimientos de gestión de residuos, el apoyo de la economía circular, disminución en el uso de plásticos y un mayor conocimiento social sobre los efectos dañinos de la contaminación plástica (Pedraza-Peña & Medina-Delgado, 2021).

2.1.2.2 Microplásticos

Son pequeñas partículas $> 5\text{mm}$, estos trozos pueden tener la forma de fibras, esferas o láminas pueden introducirse accidentalmente en productos como cosméticos, artículos de

cuidado personal y detergentes, pero también pueden provenir de la destrucción de grandes objetos plásticos (Castañeda et al., 2020). Los océanos, ríos, lagos, suelos y el aire contienen microplásticos. Se han planteado inquietudes sobre los efectos perjudiciales en la salud de los seres humanos como resultado del descubrimiento de diminutas partículas de plástico en los mariscos, fuentes de agua potable y otros alimentos (Díaz & Torres, 2015).

El pequeño tamaño de los microplásticos los hace ingeribles tanto para organismos acuáticos como terrestres, lo que tiene un impacto en los ecosistemas y la cadena alimentaria (Sáenz, 2020). Pueden transportar y acumular sustancias químicas tóxicas como pesticidas y contaminantes orgánicos persistentes, incrementando la amenaza de acercamiento en los organismos que las consumen. Para prevenir la contaminación y disminuir los efectos nocivos en los ecosistemas y la salud humana es fundamental reducir los microplásticos y gestionar de forma adecuada estos residuos, creando tecnologías de filtrado y eliminación de microplásticos (Castañeda et al., 2020).

- **Microplásticos primarios**

Son considerados microplásticos primarios aquellos que tras su uso pueden alcanzar el medio natural, es decir, regresan al estado en el que fueron condensados. Este tipo existe principalmente en forma de corpúsculos con dimensiones microscópicas, se encuentran las microesferas (< 500mm) comprendidas en varios artículos cosméticos (Arcos & Marín, 2021). Una vez aprovechadas se limpian en los desagües y los fragmentos plásticos son trasladados mediante las aguas residuales que después podrían llegar al medio ambiente (Rivas & Ornela, 2021).

- **Microplásticos secundarios**

Son el resultado del deterioro de elementos plásticos más grandes, pueden llegar al medio ambiente a partir de rutas mecánicas debido a la mala gestión de los residuos. Son procedentes de la segmentación de grandes estructuras sintéticas que se obtienen por el desprendimiento de fibras sintéticas de prendas de vestir, principalmente elaboradas con terciopelo y lana, su principal constituyente es el acrílico o poliéster, estos desechos plásticos son trasladados a los desagües ya que no pueden ser captados por las plantas de tratamiento de aguas residuales que luego desembocan en el mar (Arcos & Marín, 2021).

2.2 Contaminación de desechos plásticos en ecosistemas acuáticos

Según Quiñones (2021) la contaminación provocada por residuos plásticos en ambientes acuáticos se refiere a la existencia de plásticos y sus residuos en cuerpos de agua como océanos, ríos, lagos, mares y aguas subterráneas. Se considera una forma grave de contaminación ambiental debido a los impactos negativos que tiene en rutas acuáticas, ecosistemas y la salud de los seres humanos. La reducción de la contaminación plástica en los ecosistemas hídricos es crucial para preservar la biodiversidad y la salud de los ecosistemas hídricos en las comunidades que dependen de los recursos naturales. Esto implica la adopción de estrategias que ayuden a la disminución de la fabricación y la utilización de materiales plásticos, fomentando la reutilización y la conciencia ambiental sobre los impactos negativos de la contaminación plástica (Acosta et al., 2022).

Dado que se cree que las fuentes terrestres son la entrada principal para los desechos plásticos marinos, los canales fluviales pueden favorecer el traslado de desechos plásticos a larga distancia como es el mar. Dando como resultado que los ríos son la principal vía de acceso entre este tipo de desechos y su llegada al océano (Sánchez, 2018). Según estimaciones recientes la cantidad de emisiones plásticas costeras atribuibles al transporte fluvial oscila entre 3 - 19 %, una vez en el medio ambiente el destino plástico está determinado por sus características incluida la posibilidad de que recorra distancias se acumule y se degrade a diferentes velocidades según el polímero del plástico y el tipo de artículo (Lacerot et al., 2020). La caracterización de los polímeros es crucial para predecir el destino y el impacto de los plásticos debido a sus características.

2.3 Presencia de microplásticos en el agua

La mayor cantidad de desperdicios plásticos en el océano provienen de ecosistemas terrestres y son transportados por ecosistemas acuáticos; una vez que los plásticos llegan al océano es transportado por las corrientes superficiales y los vientos predominantes. Aunque se ha descubierto plástico en todas las regiones oceánicas, se ha determinado que las aguas superficiales del giro subtropical contienen los niveles más altos de plásticos (Molina et al., 2021). Al Océano Pacífico llega alrededor de 450 000 y 129 000 toneladas de desechos plásticos que crecen exponencialmente conforme incrementa la población, aumentando los niveles de contaminación y la pérdida de ecosistemas acuáticos (Mendoza-Cariño et al., 2014).

El aumento de la densidad poblacional, tratamiento de aguas residuales, crecimiento urbanístico y la gestión de los residuos son las principales fuentes de generación de basura plástica en los ríos (Rojas & Romero, 2024). Las actividades humanas pueden vincularse directamente con las fuentes de basura plástica en sistemas de agua dulce y principalmente sus alrededores. Las fuentes de ingreso de los desechos plásticos se realizan de forma natural o mediante la intervención de los seres humanos al ser arrojados, la escorrentía superficial de la lluvia y el viento es el resultado de procesos naturales. En los últimos años se han realizado monitoreos para recolectar agua de la superficie de los ríos en un número cada vez mayor de estudios para su posterior análisis (Castañeda et al., 2020).

Para Margenat et al. (2021) las variables hídricas como la magnitud del agua, el caudal y la descarga tienen un impacto en el transporte de plástico una vez que ingresa a un río. Los plásticos se almacenan momentáneamente en las orillas de los ríos o en las áreas de la ribera con vegetación pueden movilizarse con el aumento del nivel de agua. Sin embargo, se los puede localizar en la vegetación durante catástrofes como inundaciones, soportes hidráulicos como represas que son utilizadas como sumideros a corto plazo para la recolección de la basura plástica de los ríos fluviales (Morábito et al., 2017).

2.4 Degradación ambiental de los microplásticos

Debido a su elevado nivel de resistencia a las características ambientales, los polímeros sintéticos se degradan muy poco y tienen tiempos de residencia muy largos (Quiroz et al., 2017). Mediante la degradación de polímeros en partículas diminutas, se puede obtener la formación de monómeros y oligómeros que en versiones alteradas químicamente e incluso pueden mineralizarse por completo durante el proceso de desintegración. Los siguientes párrafos proporcionan una explicación detallada de los procesos más importantes involucrados en la degradación de polímeros sintéticos.

La técnica de degradación física se la puede realizar mediante calentamiento, congelación, enfriamiento y otro tipo de actividades como humectación y secado que influyen directamente con los materiales plásticos. Se puede realizar mediante la intervención de luz UV por la aplicación de fotodegradación y mediante la utilización de químicos y organismos biológicos como las bacterias y hongos que ayudan a facilitar los procesos de degradación en materiales plásticos (Rodríguez, 2021).

Según Acosta- González et al. (2022) la desintegración por vía mecánica es una variable influyente cuando se tratan temas de plásticos en ecosistemas acuáticos. La mayor proporción de las propiedades del polímero cambian como resultado del envejecimiento causado por condiciones medioambientales como la exposición a luz ultravioleta y la desintegración de materiales plásticos mediante la utilización de químicos aditivos (Morábito et al., 2017). El movimiento que es provocado por las conocidas fuerzas de fricción se desarrolla en diferentes áreas ambientales ya que eventualmente reducen el material recalcitrante en fragmentos más pequeños. Debido a la disminución del volumen de las partículas y el posterior incremento de la superficie causado por la degradación mecánica, las partículas de polímero se degradan más rápidamente debido a su mayor reactividad (Quiroz et al., 2017).

2.5 Macroinvertebrados

Son animales acuáticos que intervienen en los procesos ecológicos de los ecosistemas fluviales, los macroinvertebrados juegan un papel importante. Son organismos con niveles tróficos que corresponden a consumidores de primer y segundo orden y se utilizan comúnmente como indicadores de la calidad o naturaleza que presenta el agua de un río o un océano (Sánchez, 2018). La utilización de estos individuos como agentes de control es posible debido a la extensa distribución geográfica que presentan y reacciones inmediatas a los gradientes ambientales. Además, permite el estudio de las consecuencias potenciales de la contaminación, teniendo en cuenta los niveles de tolerancia que poseen los organismos en relación con la alteración ambiental. La familia es el nivel de análisis taxonómico que se utiliza con mayor frecuencia (Pereira & Dávila, 2023).

Si el nivel de desequilibrio ambiental es muy alto, las consecuencias se pueden medir mediante el estudio de una mínima cantidad de especies tolerantes; si el cambio en algunas condiciones ambientales es moderado, algunas especies pueden extinguirse, otras pueden volverse más abundantes, o pueden atraerse otras especies que las toleran (Muriel, 2020). A nivel individual, es posible que no cambien la estructura de la comunidad de macroinvertebrados incluso con los niveles bajos de perturbación.

Los macroinvertebrados se conocen como bentónicos debido a su hábitat, que incluye una variedad de superficies como sedimentos, fragmentos de flora fluvial, troncos de árboles y piedras (Carrera-Reyes & Fierro-Peralbo, 2001). Pueden consumir seres vivos (vegetales o animales) y ser herbívoros o depredadores, o pueden ser omnívoros y detritívoros, lo que

significa que su fuente de energía se deriva de materia orgánica o en descomposición (Sáenz, 2020).

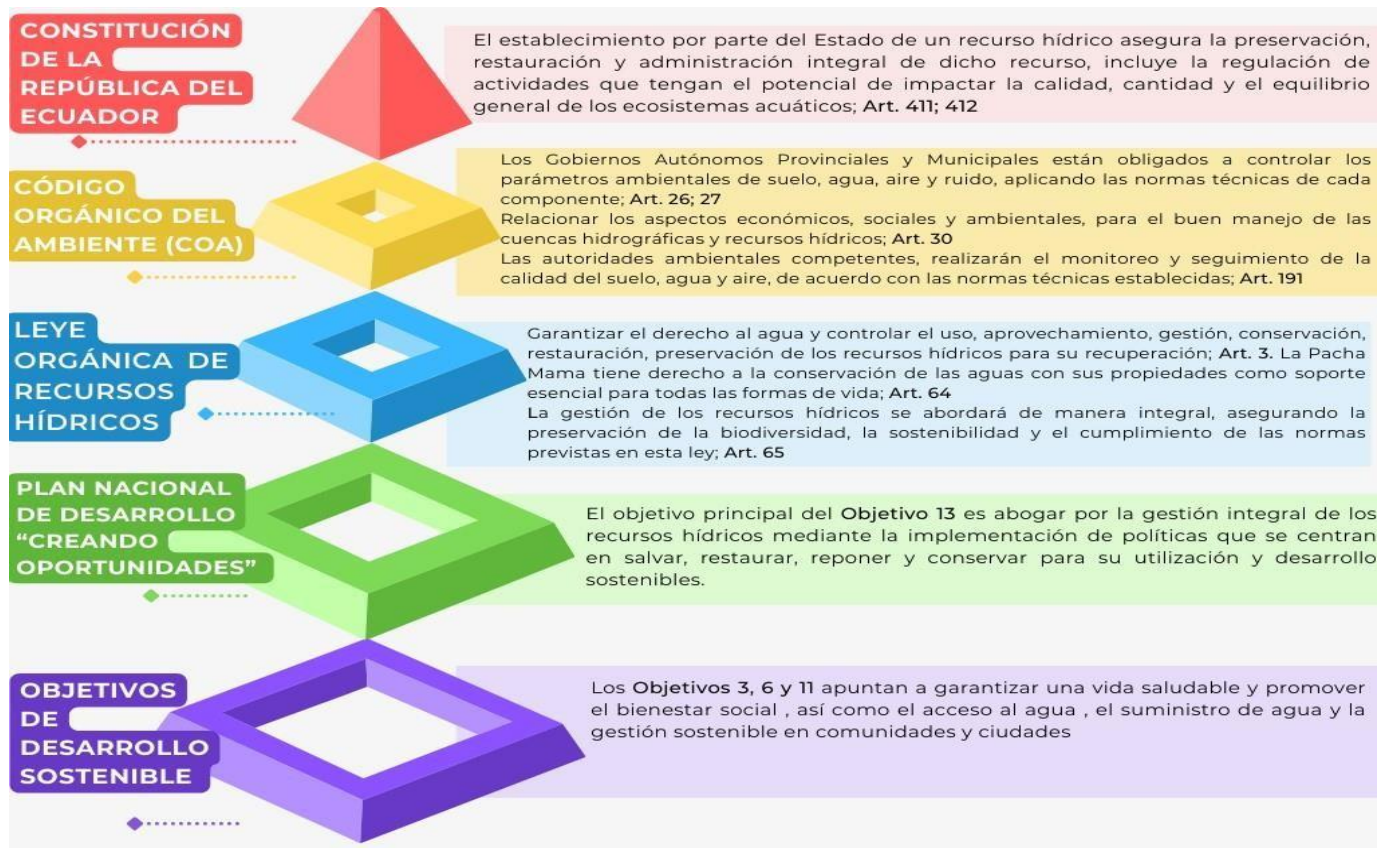
2.7 Efectos de los plásticos en la salud humana

Las personas consumidoras de microplásticos y nanoplásticos que se encuentran en los productos del mar pueden experimentar efectos negativos para la salud debido a los contaminantes tóxicos y bioacumulativos que se pueden alojar en el organismo durante años (Sánchez, 2018). Cuando ingresa al agua, los microplásticos tienen una repercusión negativa y significativa en el medio ya que pueden ingresar a la cadena alimentaria en una variedad de niveles, mediante alimentación por filtración, suspensión, una de las más comunes como la inhalación del aire y agua, el principal método de exposición a cantidades microplásticas se debe a la ingestión directa que da como resultado el taponamiento del aparato digestivo causando la percepción de llenura debido al incremento de los niveles de partículas plásticas y disminución en la reproducción humana (Royte, 2019).

2.2 Marco legal

Figura 1

Pirámide de Kelsen que detalla los artículos que intervienen en el cuidado de los ecosistemas acuáticos



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción y principales características de la zona de estudio

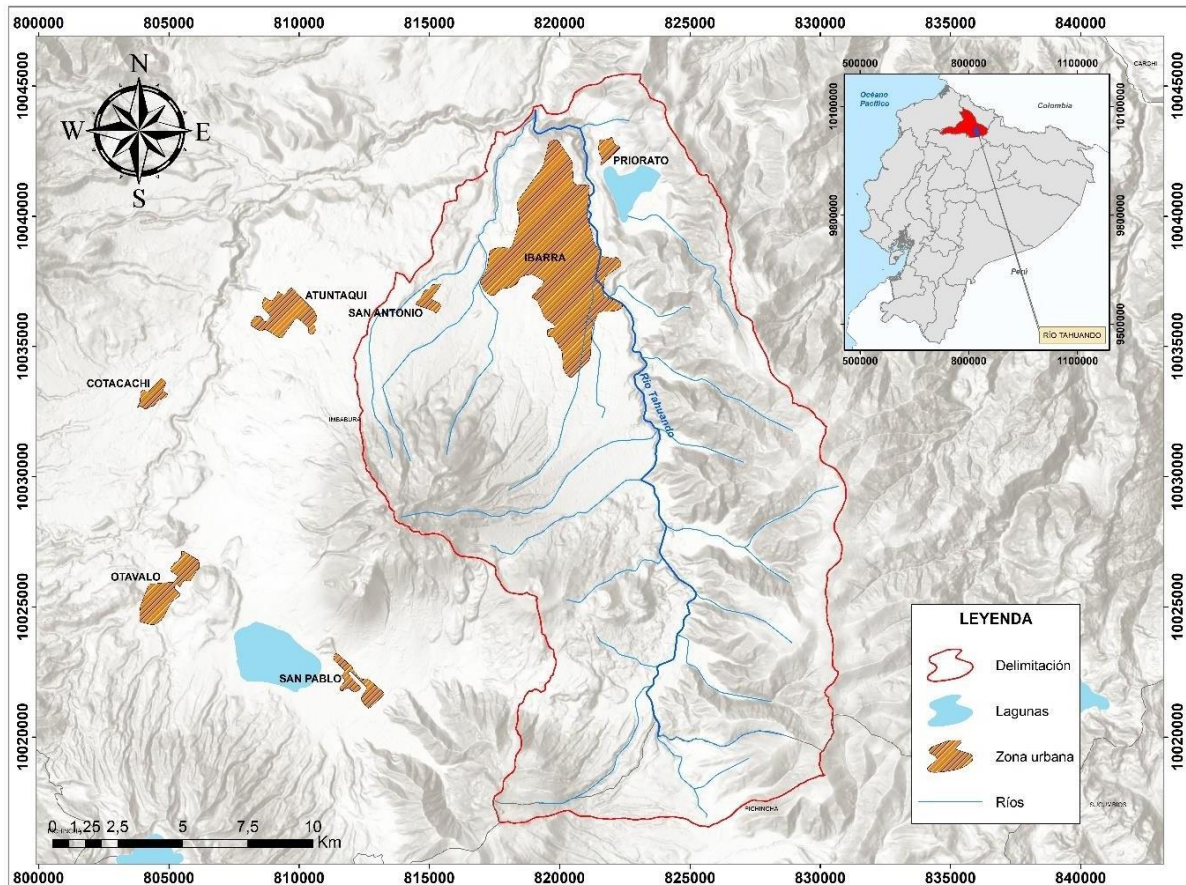
La presente investigación se desarrolló en la provincia de Imbabura, en Ibarra, presenta una extensión de superficie de 1 093 km² y la población de 131 856 según las últimas proyecciones de población del INEC 2020. Ibarra se ubica en las coordenadas 0° 21' 46" N y 78° 07' 48. Su red hídrica se encuentra conformada por las quebradas San Pedro, Santa Martha, La Chimba, El Chilco, Punguhuayco, Chilca, Chucho de Torres, Rumipamba, Manzano Huaycu, La Compañía, Lulinquí, San Clemente y San Antonio que cruzan con los ríos Chorlaví y Cariacu (Calderón et al., 2004).

El río Tahuando se encuentra ubicado principalmente en las parroquias de Angochagua, la Esperanza, El Sagrario y San Francisco, el río mide 17 km desde la parte alta la cuenca hidrográfica conocida como Zuleta hasta la cuenca baja de Priorato, una temperatura media anual de 17,6 °C, precipitación media anual de 612 mm y caudal medio de 4,3 m³/s (Dávalos & Chiriboga, 2010). Por su cercanía a las comunidades más influyentes del cantón Ibarra, se ha evidenciado las consecuencias ecológicas mediante el mal manejo de descargas de aguas residuales sin tratar, el río se ha convertido en un botadero de cielo abierto desde sus orillas hasta el cuerpo de agua (GAD-I, 2020).

La cuenca hidrográfica del río Tahuando se considera un recurso fluvial indispensable para la sustentación de las comunidades Imbabureñas. Es un río con características hidrológicas muy variables porque el caudal está completamente influenciado por el ciclo hidrológico de la cuenca (Pozo, 2022). En la época seca, debido a los cambios de temperatura y especialmente por la baja provisión de agua de los afluentes, el caudal por el cauce del río es muy pequeño, e incluso algunas zonas tienen un caudal de agua casi nulo, pero en época lluviosa los niveles del caudal alcanzan valores muy altos con características de inundaciones (Calderón et al., 2004).

Figura 2

Localización de la cuenca hidrográfica del río Tahuando



3.2 Métodos de muestreo

3.2.1 Identificación y codificación de los puntos de muestreo

Los ríos son extremadamente dinámicos, presentan características que se modifican con el pasar del tiempo, lo que significa que el muestreo de desechos plásticos requiere un enfoque diverso. Los puntos de muestreo se realizaron en conjunto con otra investigación en el río Tahuando en el que se determinaron 6 puntos de muestreo, se realizaron dos salidas técnicas para recolectar las muestras e identificar las perturbaciones antrópicas que existen en el río Tahuando. Los puntos de muestreo se encuentran ubicados en las parroquias rurales ya mencionadas (Tabla 1). Para poder identificar los puntos de muestreo y tener una idea más clara del lugar en que se encuentran ubicados, se realizó una codificación de datos para mayor interpretación de resultados.

Tabla 1

Coordenadas WGS 198 UTM de los puntos de muestreo en el área de estudio

Punto	Ubicación	Codificación	Longitud (X)	Latitud (Y)
1	Santa Rosa	SANT1	-7,807,332	0.17894
2	Hacienda Zuleta 1	ZUL1	-780,623,158	0.1944113
3	Hacienda Zuleta 2	ZUL2	-78,078,279	0.204926
4	Hacienda Zuleta 3	ZUL3	-78,085,720	0.207898
5	Angochagua	ANG1	-78,080,746	0.2334
6	El Tejar	TEJ1	-78,100,694	0.323298

3.2.2 Determinación de la abundancia y distribución de macroplásticos en las zonas de ribera y el cuerpo de agua del río Tahuando en base a las presiones antrópicas y características ambientales.

Una vez definidos los puntos y fechas de monitoreos, se procedió a realizar la salida técnica para la recolección de muestras de macroplásticos (> 5 cm), se ejecutó un monitoreo simple en el que se empleó un transecto con una longitud de 100 m (largo) y 6 m (ancho) por el canal fluvial (Figura 3). Los desechos plásticos se recolectaron en bolsas distintas, etiquetadas, se tomaron muestras de un lado del río y se hizo de forma metódica a medida que vaya transcurriendo el tiempo, cada artículo se limpió, seco y etiqueto después del muestreo. Utilizando el código de etiquetado como guía, se tomó una fotografía a escala de cada macroplástico, para ello fue necesario mantener los desechos plásticos del margen del río Tahuando en bolsas separadas después de que se completó el muestreo (Campoy & Beiras, 2019).

Figura 3

Delimitación y ubicación del área del muestreo



Nota. Localización del área de muestreo para definir los límites del río en el que se va a desarrollar la realización de la investigación. Tomado de *Margenat et al. (2021)*

Las observaciones visuales se utilizaron para rastrear desechos plásticos grandes (> 5 cm) que se encontraban flotando en la columna del río. Durante al menos 30 minutos, las observaciones se realizaron desde lugares elevados con un mínimo de 3 personas, al inicio y final del transecto del río, se empleó la metodología de toma de fotografías con la ayuda de un tercer acompañante para permitir la identificación de los desechos durante el estudio. La dirección de observación se realizó aguas arriba y la longitud y el ancho máximos no deben superar los 20 m (Margenat et al., 2021).

Las muestras recolectadas se llevaron al Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LABINAM), se procedió a pesar y medir cada macropástico encontrado para la realización de una matriz de identificación.

3.2.3 Determinación de la abundancia y distribución de microplásticos en el río Tahuando en base a sus características hidromorfológicas y niveles de perturbación.

Antes de utilizar los materiales para el muestreo de microplásticos fueron descontaminados, el metal se purificó con agua destilada para eliminar los contaminantes presentes, los materiales que no se usaron de inmediato se guardaron en recipientes sin plástico. El mismo procedimiento del metal se utilizó para descontaminar los materiales de vidrio, para luego ser almacenados antes de su utilización y evitar la contaminación cruzada (Campoy & Beiras, 2019).

Tomando como referencia el curso del cauce fluvial, en la zona de la ribera se determinó un terreno de 100 m de largo y 3 m de ancho en un margen del río. Se diseñó un cuadrante de 40 x 40 cm para recolectar las muestras de sedimento en los seis puntos de muestreo y se creó diez transectos perpendiculares al canal del río a distancias de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 m realizando una muestra compuesta (Margenat et al., 2021). En un bote de cristal ya rotulado se preservaron las muestras recolectadas para luego utilizar los tamices de 150 y 250 μm para eliminar el excedente de la muestra y analizar en el laboratorio.

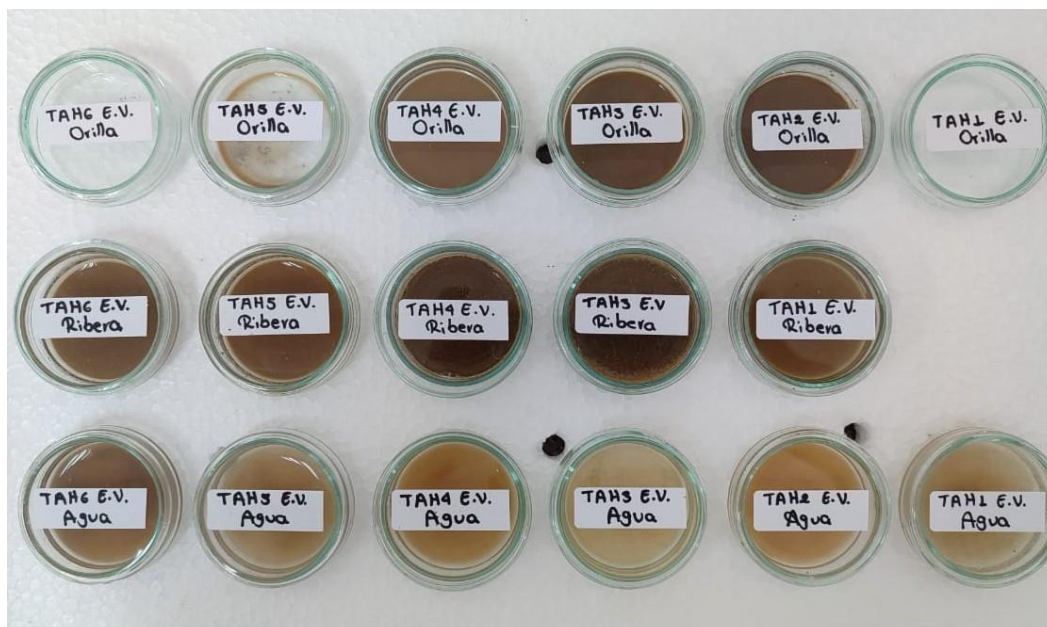
La recolección de microplásticos en el agua se realizó mediante la implementación de tamices de 38, 150 y 250 μm . Se realizó una muestra compuesta recolectando el agua del río hasta llenar un balde de 50 litros, aproximadamente por 5 minutos, posterior a ello se utilizó

los tamices de mayor a menor tamaño filtrando el agua que se obtuvo anteriormente. El contenido del agua del río del balde será eliminado después del filtrado, la muestra tamizada fue almacenada en frascos de vidrio correctamente etiquetados y desinfectado con agua destilada (Rojo, 2022).

La preparación de las muestras de microplásticos de la ribera y de la columna de agua se llevó a cabo en LABINAM (Laboratorio de Investigaciones Ambientales) de la Universidad Técnica del Norte, inicialmente se pesaron las muestras de cada punto para ser colocadas en vasos de precipitación y proceder con el secado de las muestras en la estufa a 90 °C durante 6 horas, después se realizó el pesaje de la muestra para obtener el peso neto. Para descomponer la materia orgánica, se agregó de 20 a 30 ml de Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) al 30% dejando actuar por 24 horas para que el proceso este completo. Después se agregó una mínima cantidad de Cloruro de Sodio (NaCl) a una concentración de 5M dejando reposar por 24 horas para poder aislar los microplásticos de toda la muestra (Rojo, 2022). Se recogieron todos los microplásticos que se encontraban en el material suspendido con ayuda de una pipeta de cristal para luego ser colocados en cajas Petri y analizados en un Estereoscopio (Scherer et al., 2017).

Figura 4

Microplásticos existentes en la orilla, ribera y agua del río Tahuando



Mediante el método CERAS se estimó las condiciones ambientales de la zona de la ribera con las características hidromorfológicas, el principal objetivo de este índice es ofrecer

de manera más rápida y sencilla la evaluación de las condiciones de los hábitats ribereños, tomando en cuenta el impacto humano, aspectos biológicos y relieve en el área de estudio. Cuenta con 8 características en la orilla de la ribera y la columna de agua con una puntuación de 0 a 5 que va desde pésimo hasta excelente (Encalada et al., 2011).

3.2.4 Evaluación de la densidad de plásticos y su relación con la fauna acuática (macroinvertebrados) a nivel espacio temporal.

La recolección de animales acuáticos (macroinvertebrados) se efectuó mediante la utilización de red de mano estándar con una longitud de malla de 300 μm , para recoger los animales acuáticos se utilizó la técnica de remover sedimento y agua por un tiempo estimado de 5 minutos repartidos en los diferentes hábitats que se encuentran en los puntos de monitoreo. Las muestras fueron colocadas en bandejas blancas o transparentes para ser clasificadas y posterior a ello colocar en frascos *Eppendorf* con alcohol al 90% para poder y las guías de identificación de macroinvertebrados otorgadas por Encalada et al. (2019) y Encalada et al. (2011) se contabilizó e identificó cada uno de los macroinvertebrados para ser clasificados mediante especie y familia de los 6 puntos de muestreo.

Para determinar la calidad del recurso hídrico del río Tahuando se utilizaron dos índices biológicos, Biological Monitoring Working Party (BMWP-Col) tiene cualidades de presentar rapidez en su aplicación, tomando en cuenta a organismos acuáticos como indicadores esenciales para determinar la calidad de agua (Roldán, 2003). Mientras que el índice Andean Biological Index (ABI) se utilizó para estimar los ecosistemas hídricos Andino-Amazónicos, determinando así el estado natural del río (Ríos-Touma et al., 2014). El puntaje de los índices biológicos se detallan en la Tabla 2 de acuerdo con los macroinvertebrados recolectados en cada punto muestreo.

Tabla 2

Rangos de índices ABI y BMWP-Col para determinar el estado natural del agua del río

ABI	Calidad de agua	BMWP-Col	Calidad de agua
> 121	Muy buena	> 101	Buena
90 - 120	Buena	61 - 100	Aceptable
50 - 89	Regular	36 - 60	Dudosa
36 - 49	Mala	16 - 35	Crítica

3.3 Análisis estadístico

El estudio exploratorio de datos y las estadísticas descriptivas son herramientas que se pueden utilizar para analizar datos y encontrar patrones de comportamiento común. Un método de utilización son los gráficos utilizando softwares estadísticos como Excel y Minitab, que ayudarán en el análisis de varianza con variables físico – químicas y especies biológicas tomando los datos de estudios secundarios. Los datos también se pueden resumir en uno, dos o más números que describirán con precisión el conjunto de datos como otra forma de describirlo. Mediante el coeficiente Spearman se realizó el método de correlación simple de las variables más influyentes en la investigación, las condiciones fisicoquímicas, características hidromorfológicas, índices de macroinvertebrados y desechos plásticos. Se considera una correlación aceptable con un valor mínimo de 0,7 hasta llegar a 1 presentando una correlación excelente. Para incrementar la veracidad de los datos se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) y determinar la relación de macro y microplásticos con las condiciones ambientales del río Tahuando mediante la utilización del software Minitab 17 (Viso, 2017).

3.4 Materiales y equipos

Se detallan los materiales que fueron empleados para la realización de la fase de campo, así mismo como los equipos que fueron empleados en la fase de laboratorio para la obtención de resultados (Tabla 3).

Tabla 3

Materiales y equipos utilizados para las salidas de campo

Materiales/Equipos	Proceso/ actividad
Tamices (38, 150 y 250 μ m)	Recolección de microplásticos
Red de mano estándar	Recolección de macroinvertebrados
Estereoscopio	Identificación microplásticos - macroinvertebrados
Fichas de campo (CERAS)	Identificación de la zona
GPS	Ubicación de la zona
Etiquetas	Diferenciar las muestras
Frascos de vidrio	Clasificación de plásticos
Bandejas blancas	Clasificación de macroinvertebrados
Cajas petri	Identificación microplásticos - macroinvertebrados
Botas de caucho	Equipo de seguridad
Guantes de látex	Manipulación en campo y laboratorio
Estacas	Limitación de puntos de muestreo
Piolas	Marcar la distancia de los transectos
Tijeras	Corte de materiales

Cinta métrica
Bolsas de basura
Pinzas grandes
Hoja de campo (Índice QBR)
Guías de plásticos
Balanza

Medición de macroplásticos
Almacenaje de plásticos
Recolección de macroplásticos
Calidad medioambiental
Identificación de macro y microplásticos
Pesaje de muestras

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

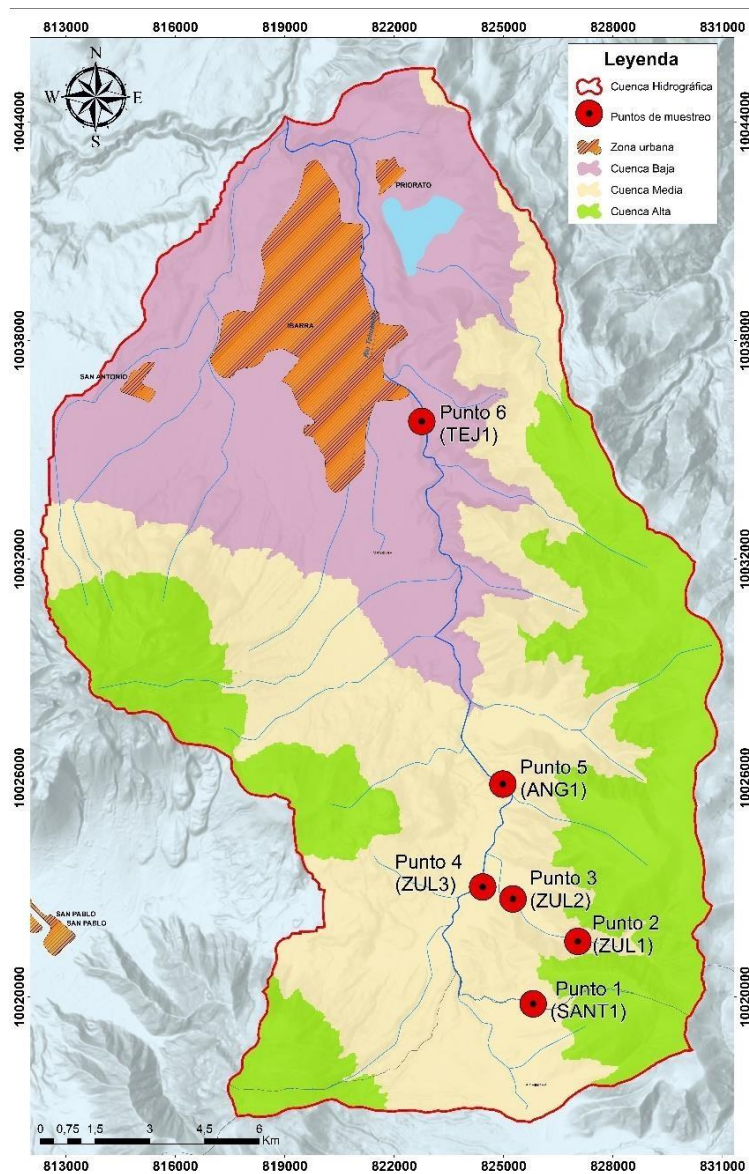
4.1 Determinar la abundancia y distribución de macroplásticos en las zonas de ribera y el cuerpo de agua del río Tahuando en base a las presiones antrópicas y características ambientales.

4.1.1 Puntos de muestreo

Se seleccionaron 6 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca hidrográfica del río Tahuando para llevar a cabo esta investigación (Figura 5). Situado en Santa Rosa, el primer punto tiene una altitud de 3 154 msnm y cuenta con un caudal de 102,18 l/s, 0,12 m de profundidad media y 2,15 m de ancho. En la Hacienda Zuleta, el segundo punto se encuentra a una altitud de 2 065 msnm, con un caudal de 210,3 l/s, una profundidad media de 0,12 m y un ancho de 2,30 m. Situado en la Hacienda Zuleta, el tercer punto se encuentra a una altitud de 2 889 msnm, con un caudal de 93,7 litros por segundo y una profundidad de 1,5 metros. En la Hacienda Zuleta, ubicada a una altitud de 2 883 msnm, el punto 4 tiene un caudal de 715,2 l/s, una profundidad promedio de 0,35 m y un ancho de 4,1 m. El punto 5, por otro lado, se encuentra a 2 790 msnm, con un caudal de 1132,6 l/s, una profundidad media de 0,21 m y un ancho de 6,75 m. Finalmente, el punto 6 se encuentra en la zona de El Tejar, con una altitud de 2 313 msnm, un caudal de 3 032,9 litros por segundo y una profundidad promedio de 0,43 metros y un ancho de 4,26 metros.

Figura 5

Identificación de los sitios de muestreo de la cuenca hidrográfica del río Tahuando



4.1.2 Actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca hidrográfica del río Tahuando

La cuenca hidrográfica del río Tahuando presenta una gran variedad de ecosistemas que se encuentran estrechamente relacionados con las perturbaciones humanas (Tabla 4), se desarrollan una gran variedad de actividades como agricultura, pastoreo, ganadería, construcción de caminos y viviendas que ayudan al crecimiento poblacional. Por otro lado, existen puntos de muestreo como en la Hacienda Zuleta en los que se realizan actividades turísticas que indirectamente pueden afectar gravemente los componentes bióticos y abióticos perdiendo el equilibrio del ecosistema. Los impactos ambientales y sobre todo los cambios

físicos que se evidencian en los ecosistemas acuáticos dependen de las perturbaciones antropogénicas que ocurren alrededor de los sitios de muestreo (Rodrigues et al., 2015).

Tabla 4

Actividades antrópicas y calidad hidromorfológica de acuerdo al índice CERAS de los sitios de monitoreo

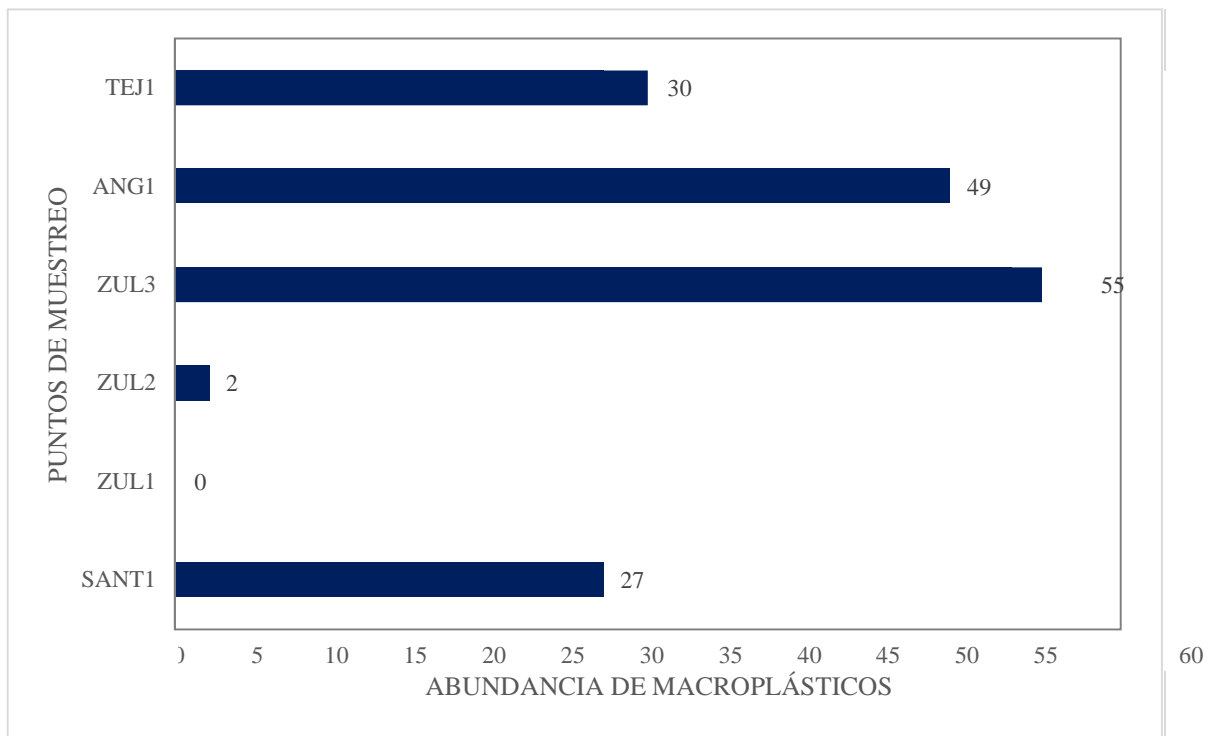
Puntos de muestreo	Actividades antrópicas	Calidad hidromorfológica
1	Ganadería, agricultura, deforestación, construcción de viviendas y carreteras, perturbaciones básicas	Moderada
2	Ganadería, turismo	Moderada
3	Agricultura, ganadería, extracción forestal, turismo, perturbaciones básicas	Moderada
4	Turismo, agricultura, descargas de aguas residuales, perturbaciones básicas y generación de desechos	Moderada
5	Ganadería, agricultura, construcción de carreteras, generación de residuos, deforestación, turismo, descargas de aguas de residuales, perturbaciones básicas	Moderada
6	Turismo, expansión de la zona urbana, ganadería, agricultura, generación de residuos, perturbaciones básicas	Moderada

4.1.2 Abundancia y distribución de macroplásticos

La abundancia y distribución de los plásticos más grandes en los ecosistemas acuáticos depende de varios factores en los que se incluye la topografía de la zona, el caudal del río, la densidad de la población, incremento de desechos plásticos, esa serie de perturbaciones se encuentran relacionadas con el desarrollo de las actividades humanas en el río Tahuando (González, 2019). Una vez realizado el análisis se determinó la cantidad de macroplásticos existentes en los sitios de muestreo (Figura 6), el punto 3 ubicado en la Hacienda Zuleta presenta la mayor cantidad de plásticos acumulados, debido a la cercanía de las zonas urbanas en el que las actividades antropogénicas se presentan con mayor intensidad en la generación de residuos plásticos que pueden ser transportados por la corriente de agua para ser almacenados en la parte baja del río aumentando así los niveles de contaminación de los ecosistemas acuáticos (Celi et al., 2023).

Figura 6

Abundancia y distribución de macroplásticos en los puntos de muestreo de la cuenca del río Tahuando

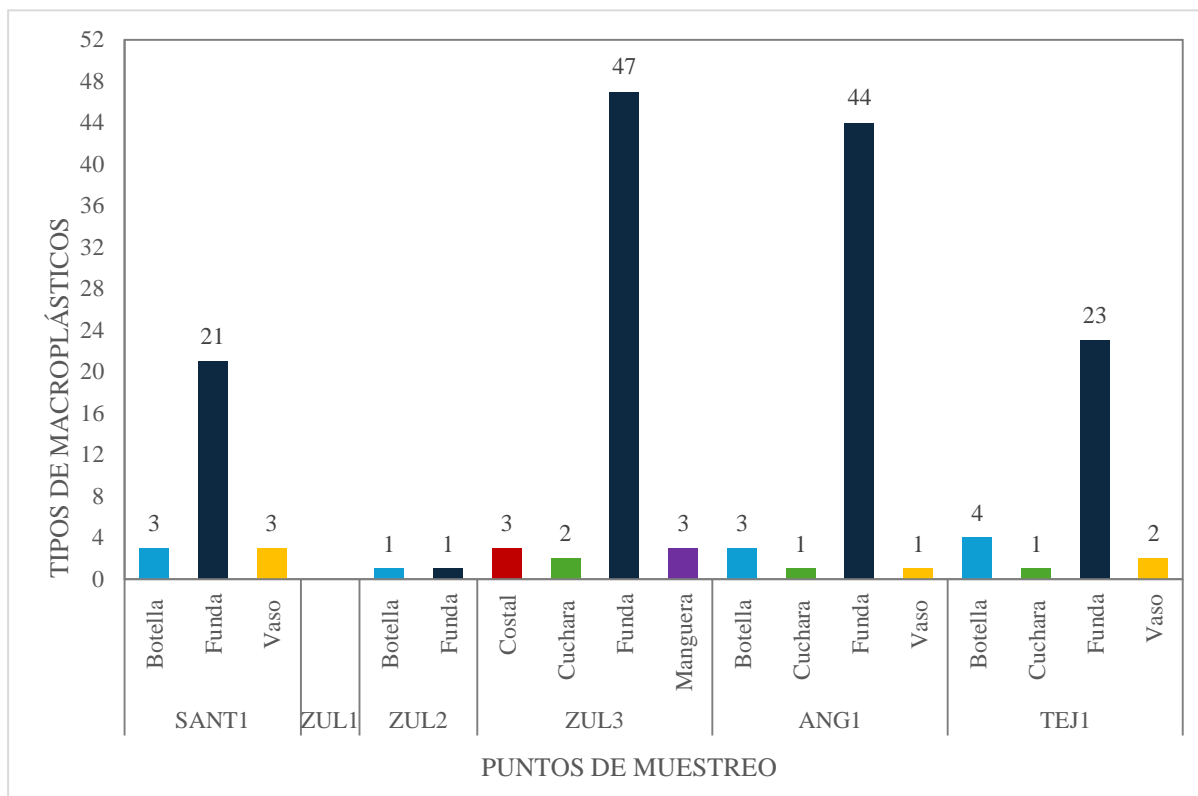


4.1.3 Tipos de macroplásticos identificados en los sitios de monitoreo

Los macroplásticos son fragmentos que se encuentran visibles al ojo del ser humano que pueden presentar diferentes formas y tamaños debido a su composición (Figura 7). Las fundas plásticas que se utilizan para transportar comida, ropa, materiales de agricultura y otros artículos resultan comunes en la contaminación del medio ambiente, por otro lado, las botellas plásticas utilizadas para bebidas se acumulan en el cauce fluvial presentando un gran desafío medio ambiental por el largo tiempo de desintegración que poseen, ya que se encuentran formados principalmente por polietileno y polipropileno que construyen principalmente a la contaminación del suelo y el agua (Cabrera et al., 2021).

Figura 7

Tipos de macroplásticos recolectados en los puntos de monitoreo del río Tahuando



4.1.3 Cuantificación de macroplásticos

La mayoría de los macroplásticos se cuantificaron de acuerdo con la recolección realizada en campo, se procedió a realizar el conteo de cada plástico recolectado en conjunto con su peso y tamaño, estos fueron agrupados en tablas debido a la cantidad debido a la gran cantidad de datos que se encontraron.

En Santa Rosa (Punto 1) se detalla una cantidad de 27 macroplásticos recolectados en la orilla, ribera y columna de agua del río Tahuando como se presenta en la Tabla 5. La mayor cantidad de plásticos recolectados son provenientes de las actividades antrópicas que realiza la sociedad, se recolectó gran cantidad de bolsas plásticas que se encuentran constituidas principalmente por polietileno, policloruro de vinilideno y policloruro de vinilo, estos compuestos son provenientes del petróleo que al momento de comenzar su descomposición liberan gran cantidad de materiales tóxicos dañinos para los seres vivos (Tavares, 2021). Las actividades de ganadería y agricultura que se encuentran en la parte superior de Santa Rosa han determinado que exista gran porción de plásticos en el agua.

Tabla 5

Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera y agua del río en el punto de monitoreo SANTI

	Tipo	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
RIBERA	Botella	3	2,90 - 31,80	2,90 - 17,70	1,81 - 53,15
	Vaso	2	8,90 - 9,10	10,20 - 10,50	2,43
	Funda	9	14,1 - 40,10	0,90 - 16,80	0,15 - 3,23
COLUMNA	Funda	12	8,41 - 104,20	0,80 - 34,33	0,13 - 8,27
DE AGUA	Vaso	1	8,40	9,80	1,90

En la hacienda Zuleta corriente alta (Punto 2) debido a que se encuentra en la parte más alta del río Tahuando y no se desarrollan actividades humanas que puedan generar el incremento de desechos plásticos y así contaminar y alterar el ecosistema sirviendo como un esquema de referencia para las zonas rurales.

En la hacienda Zuleta corriente media (Punto 3) se encuentra en la cuenca media del Tahuando, se está acercando a la parte baja del río se logró identificar que existe presencia de plásticos en una mínima cantidad como se indica en la Tabla 6. Los plásticos están profundamente relacionados con la agricultura debido a que desde las semillas se encuentran cubiertas por plástico para garantizar su preservación, inclusive la mayor cantidad de fertilizantes biosólidos que se emplean en los campos de cultivo para favorecer el crecimiento de las plantas están formados por plásticos que terminan la cadena alimentaria de los organismos vivos o también impiden el incremento agrícola (Ingeborg & Peña, 2013).

Tabla 6

Macroplásticos recolectados en la orilla del río en el punto de muestreo ZUL2

Tipo	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
Funda	1	7,10	5,35	0,35
Botella	1	3	3	0,26

En la hacienda Zuleta corriente baja (Punto 4) se recolecto 55 tipos de plásticos, siendo la mayor cantidad de plásticos obtenidos durante todo el muestreo como se indica en la Tabla 7. Se debe principalmente al sobreconsumo de plásticos debido al gran parte de productos que más se utilizan están hechos por plásticos haciendo que la basura crezca diariamente, no gestionar los desechos plásticos incrementa la acumulación de este tipo de residuos, solamente un 14% de la basura plástica generada es capaz de ser reciclada, mientras que la mayor parte con un total del 86% es quemada o se vierte en espacios acuáticos incrementando así la contaminación ambiental y el efecto invernadero (García, 2019).

Tabla 7*Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera del río en el sitio de muestreo ZUL3*

Tipo	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
Funda	47	3,30 - 88,91	0,40 – 38,55	0,27 - 315,24
Manguera	3	11,30 - 26,10	2,83 – 16,43	0,20 - 2,41
Cuchara	2	4,30 - 13,50	3,40 – 7,70	0,02 - 0,24
Costal	3	10,10 - 33,52	3,60 – 13,60	0,13 - 8,78

El Punto 5 ubicado en Angochagua presenta 49 plásticos recolectados como se indica en la Tabla 8. Las perturbaciones humanas que se desarrollan cerca de la parte media-baja del río Tahuando son un factor indispensable en el incremento de residuos plásticos, son provenientes del turismo, actividades de ganadería y agricultura que se encuentran cerca del sector, acumulación de aguas residuales que causan daños a diferentes partes del ecosistema, afectación a la salud humana, desgaste de las condiciones naturales del agua y aire y por último pérdida de biodiversidad tanto flora como fauna (Gómez, 2016).

Tabla 8*Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera del río en el sitio de muestreo ANGI*

Tipo	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
Botella	3	11,10 - 25,90	2,20 - 9,83	0,09 - 20,13
Vaso	1	10,30	18,50	0,24
Funda	44	3,40 - 45,10	0,40 - 26,28	0,05 - 2,86
Cuchara	1	19,60	0,50	1,42

El último punto de muestreo se encuentra ubicado en el Tejar en donde se recolecto una cantidad de 30 macroplásticos como se indica en la Tabla 9. La contaminación por plásticos es un problema que se está efectuando a nivel mundial ya que contamina los ecosistemas acuáticos, la dirección del viento y el agua son una de las causas que incrementa los residuos plásticos provenientes de actividades antrópicas y turísticas. Los impactos ecológicos de los macroplásticos se catalogan en cambios físicos en el medio acuático y efectos a la fauna acuática por ingestión, provocando un desequilibrio en el medio ambiente natural (Campoy & Beiras, 2019).

Tabla 9*Rangos de macroplásticos recolectados en la ribera del río en el sitio de muestreo TEJI*

Tipo	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
Botella	4	3,10 - 31,60	3,10 - 12,60	1,66 – 32,82

Vaso	2	7,90 - 8,80	8,70 - 8,90	2,26 - 4,12
Funda	23	4,0 - 57,80	0,04 - 40,20	0,21 - 31,37
Cuchara	1	7,90	8,90	2,26


4.2 Determinar la abundancia y distribución de microplásticos en el río Tahuando en base a sus características hidromorfológicas y niveles de perturbación.

4.2.1 Características hidromorfológicas de acuerdo con el índice CERAS



El río Tahuando está rodeado de diferentes modelos de vegetación, en los que se incluyen pastos para el sector ganadero y áreas agrícolas para los cultivos. Se pudo evidenciar que en 4 de los 6 puntos muestreados existe gran cantidad de basura plástica en la ribera, proveniente de las actividades antrópicas provocando el desgaste paisajístico del río, mientras que en el cauce fluvial se encontró presencia de piedras, gravas, arena y restos de materiales de construcción dando como resultado las características hidromorfológicas de los puntos de muestreo (Tabla 10).

Tabla 10

Descripción de características hidromorfológicas de la cuenca del río Tahuando

Puntos de muestreo	Características
<p>SANT1</p> 	<p>Este sitio de monitoreo tiene una calidad de ecosistema de bosque mixto, con un canal fluvial natural que no ha sido modificado por el hombre, en este lugar se presenta gran cantidad de piedras, gravas, arena-arcilla y vegetación acuática sumergida presentando un alto índice de contaminación y erosión debido a la basura y el excesivo uso de zonas agrícolas que se encontró. Cabe mencionar que no se evidencio vertidos de aguas residuales que aumenten los niveles de polución en ambientes acuáticos.</p>
<p>ZUL1</p>	<p>El tipo de vegetación que presenta la hacienda Zuleta es páramo mixto con plantaciones de eucalipto y pino, se encuentran manchas grandes en la ribera y extracción de agua o bocatomas que disminuyen el caudal del río. No se evidencio gran</p>

	<p>cantidad de basura plástica en el lecho del río por lo que el índice de contaminación no se encuentra en niveles elevados.</p>
<p>ZUL2</p> 	<p>Se determino que en este punto de muestreo existen cultivos y pastos que sirven para agricultura y ganadería las principales fuentes de ingreso de los comuneros. El sustrato se encuentra dividido entre, piedras, cantos, gravas y arena con un porcentaje de mayor al 30%. La ribera es de forma continua sin presencia de basura con un canal natural, las actividades de agricultura son la principal consecuencia de que el paisaje este deteriorado debido a la presencia de bocatomas.</p>
<p>ZUL3</p> 	<p>Presenta una calidad hidromorfológica moderada debido a la presencia de grandes claros con gran cantidad de raíces expuestas ya que se encuentra una vegetación de páramo mixto con plantación de eucaliptos y pinos, el canal fluvial ha sido modificado por terrazas de forma natural. Posteriormente, se evidencio que existe gran cantidad de escombros, basura, aguas servidas, bocatomas y vertidos de piscícolas que aumentan los niveles de contaminación del ecosistema acuático.</p>
<p>ANG1</p>	<p>Las condiciones hidromorfológicas del sitio se basan en una vegetación de páramo mixto con manchas aisladas, debido a la presencia cercana de población existe infraestructura con elementos de urbanismo que han aumentado la generación de basura y escombros en el lugar. Se logro evidenciar vertidos de aguas servidas y extracción de agua en menor cantidad que sirve para el</p>

	<p>abastecimiento de agricultura y ganadería que se practica en la zona.</p>
<p style="text-align: center;">TEJ1</p> 	<p>Se determinó que la sombra del cauce se presenta con grandes claros con una vegetación de páramo degradado en el que se encuentra hierbas cortas y pisadas, mientras que la vegetación de la ribera cuenta con arbustos, cultivos y pastos que se utilizan para agricultura y ganadería, para solventar estas necesidades el cauce fluvial esta modificado por terrazas sin cemento que a lo largo del tiempo afectaran notablemente la calidad ecosistémica.</p>

En ríos altoandinos que se encuentran en Ecuador y Perú, presentan una vegetación que a lo largo que aumenta la altitud esta disminuye, sin embargo, existen algunas excepciones de acuerdo con el modelo de planta y las perturbaciones antrópicas que se desarrollan. La vegetación de los ríos presenta varios cambios que le ayudan a sobrevivir dentro de las orillas de los ríos provocando un desgaste en ambientes acuáticos y los elementos bióticos y abióticos que habitan en el lugar (Acosta et al., 2009). Debido a las actividades producidas por los seres humanos que habitan cerca del río Tahuando, la mayor parte del área se localiza recubierta con pastos que se utilizan como hábitat para animales de pastoreo y cultivos que son la principal fuente de ingresos de los comuneros, es así que debido a este tipo de acciones han generado basura plástica y escombros que han elevado los niveles de contaminación de los ecosistemas acuáticos.

4.2.2 Cuantificación de microplásticos

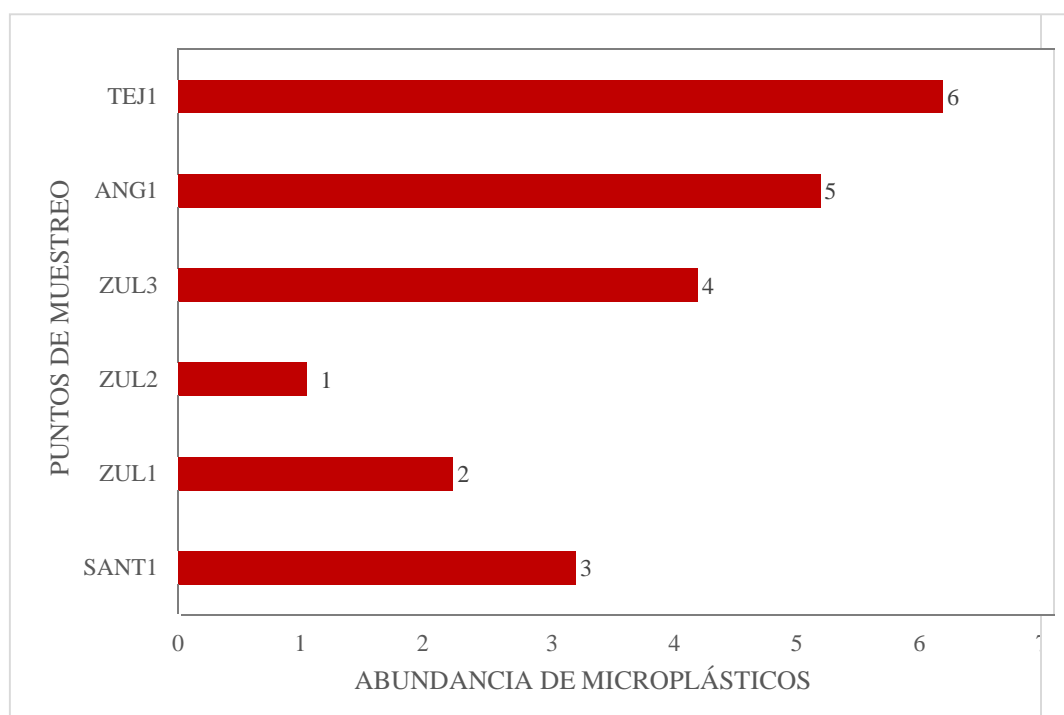
Una vez realizado el tratamiento de las muestras que se recolectaron en el agua, se procedió a realizar el conteo de microplásticos existentes en cada uno de los puntos de muestreo. Se logró cuantificar 21 microplásticos de diferentes tipos con la ayuda del

Esteroscopio, encontrando relación con las perturbaciones antrópicas que se llevan a cabo en la cuenca hidrográfica.

La abundancia y distribución de fragmentos plásticos en ambientes hídricos no se encuentra relacionada con el uso de suelo de la cuenca del río, pero sí con los lugares muestreados (Figura 8). La cantidad de microplásticos está determinada por las características hidromorfológicas que presenta y las perturbaciones humanas que se llevan a cabo en las zonas aledañas del río, mientras que la distribución de microplásticos obedece a la heterogeneidad de la cuenca, tomando en cuenta el tipo de suelo y las características hidromorfológicas que ayuden a que este tipo de residuos puedan esparcirse (González, 2019). Estos desechos plásticos de menor tamaño fueron encontrados en los 6 puntos de monitoreo con variación en la cantidad.

Figura 8

Abundancia y distribución de fragmentos plásticos en la ribera y agua del río Tahuando



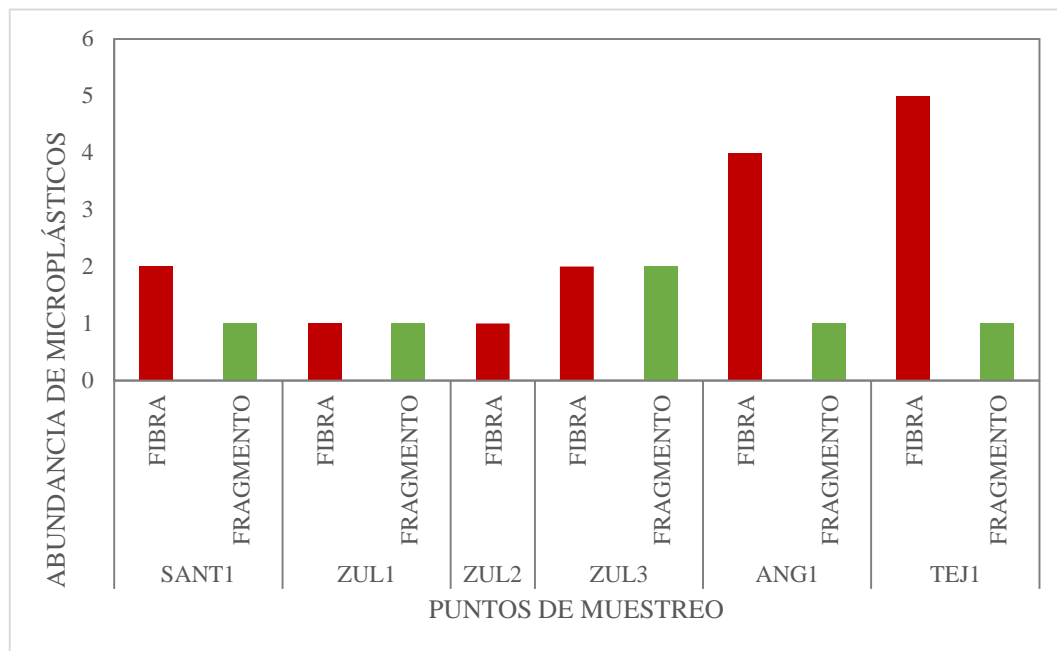
4.2.3 Identificación de desechos microplásticos en la ribera y agua del río

Existen diferentes tipos de microplásticos en los ecosistemas acuáticos (Figura 9). Es un área de investigación crítica debido al gran impacto que los diminutos fragmentos plásticos podrían tener en las especies marinas, debido a que forman parte de la cadena trófica. Los microplásticos pueden degradarse a partir de varios de años debido a la resistencia física y

química que poseen los diferentes tipos de plásticos, los residuos pueden permanecer en el ambiente por mucho tiempo y posteriormente acumularse en los ecosistemas acuáticos y terrestres generando liberación de sustancias químicas que contaminan los factores bióticos y abióticos (González, 2019).

Figura 9

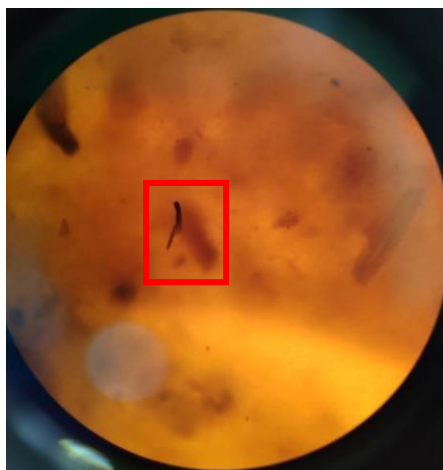
Tipos de microplásticos recolectados en la cuenca hidrográfica del río Tahuando



Existen diferentes tipos de desechos microplásticos identificados en el agua, sin embargo, la caracterización presenta dificultades debido al tamaño que poseen, se realizó identificación visual con la finalidad separar microplásticos del material orgánico que no haya sido degradado por completo, en el punto de muestreo SANT1 se logró identificar 2 fibras plásticas (Figura 10) dentro del agua y 1 fragmento en el suelo. Las fibras plásticas son polímeros que han ingresado a los ecosistemas acuáticos por diferentes vías, son provenientes de diferentes fuentes de degradación como los plásticos más grandes, causando daños significativos para los humanos y en especial los animales acuáticos provocando efectos altamente tóxicos debido a los componentes químicos que existen en el plástico (Rojo, 2022).

Figura 10

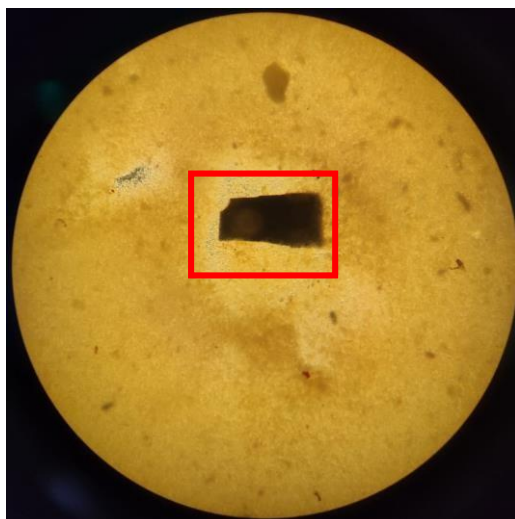
Fibra microplástica encontrada en el punto de muestreo SANT1



En el punto ZUL1 se han identificado dos tipos de microplásticos, se incluyen 1 fibra y 1 fragmento (Figura 11) según los protocolos de identificación establecidos (León et al., 2019). La gran cantidad de actividades turísticas generan el aumento de residuos plásticos, capaces de fragmentarse debido al clima que se desarrolla en el río. Uno de los principales generadores de microplásticos son los productos de cuidado personal como protectores solares y exfoliantes que presentan este tipo de residuos en forma de microesferas llegando al río para provocar efectos nocivos en los seres vivos (Rodríguez et al., 2015).

Figura 11

Fragmento microplástico encontrado en el punto ZUL1

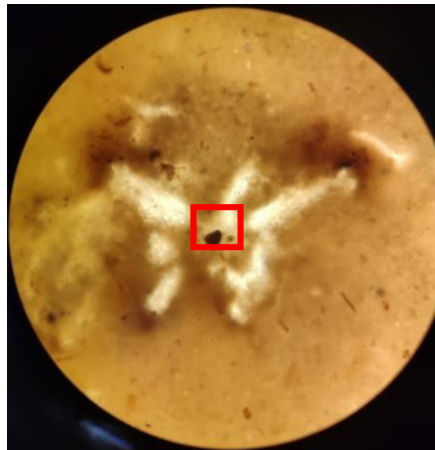


En la muestra analizada en el punto ZUL2, se logró identificar 1 fibra microplástica y gran cantidad de rocas que son capaces de desintegrarse mediante los procesos químicos utilizados (Figura 12). La ganadería en zonas cercanas a ecosistemas acuáticos ayuda a incrementar los niveles de contaminación mediante microplásticos, mediante los desechos del

ganado y productos procedentes del pastoreo como cuerdas plásticas y empaques que contienen el alimento para los animales, este tipo de residuos termina en el agua del río debido a factores como la escorrentía y erosión del suelo que disminuyen la calidad de agua (Castañeda et al., 2020).

Figura 12

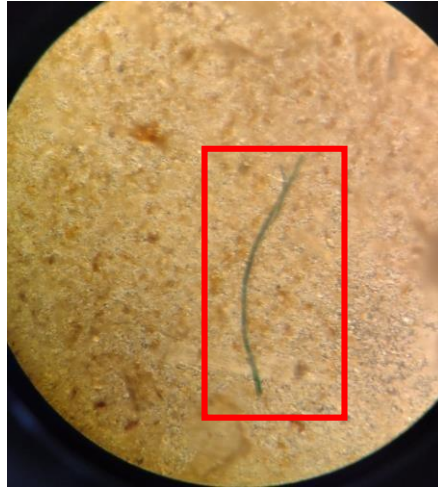
Fragmento microplástico encontrado en el punto ZUL2



Mediante el análisis del punto 4 conocido como ZUL3, se identificó 1 tipo de fragmento y 3 fibras microplásticas (Figura 13). El incremento de fibras microplásticas se debe a la realización de actividades antrópicas de los comuneros que habitan en la cuenca hidrográfica, la disposición inapropiada de desechos sólidos como lanzar basura ya sea en el suelo o en el agua contribuyen directamente al aumento y acumulación de plásticos en los ecosistemas, mientras que actividades diarias como el lavado de ropa sintética con fibras de poliéster liberan microplásticos a través de las aguas residuales que desemboca en el río (Celi et al., 2023).

Figura 13

Fibra microplástica encontrada en el punto ZUL3



El punto ANG1 presenta una cantidad de 5 microplásticos identificados como fibras y fragmentos (Figura 14). En este sector la causa más influyente para la generación de microplásticos se atribuye a las actividades recreativas que se desarrollan, debido al desarrollo de infraestructura turística como senderos, miradores y sobre todo zonas de picnic que generan residuos plásticos de manera transversal o directa aumentando la erosión en el suelo que con el pasar de tiempo liberara partículas plásticas al agua. La zona urbana consta con una carretera que mediante el desgaste de neumáticos y fibras textiles de los turistas pueden desprender pequeños fragmentos plásticos a medida que empiezan a desgastarse contribuyendo a la contaminación ambiental (Acosta-González et al., 2022).

Figura 14

Fibra microplástica encontrada en el suelo y agua del punto ANG1

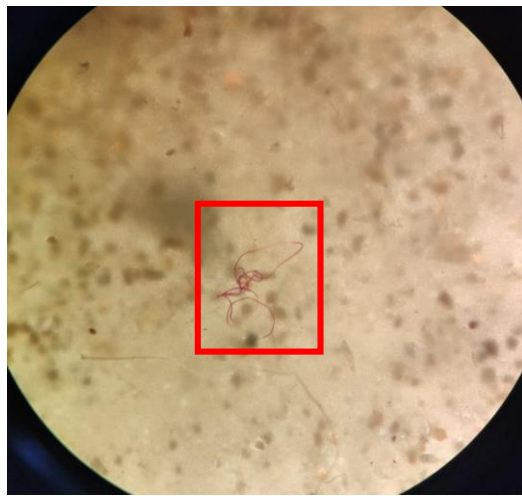


El punto 6 perteneciente a la parte baja del rio Tahuando, es el lugar en el que se ha encontrado la mayor cantidad de residuos microplásticos, se detallan 6 desechos entre fibras y

fragmentos (Figura 15) siendo los microplásticos más comunes en la degradación de plásticos más grandes. Las actividades de desarrollo urbano como construcción pueden generar la aparición de microplásticos debido al desgaste de materiales que se utiliza como tuberías y otro tipo de accesorios que se encuentren constituidos por materiales plásticos. Los residuos plásticos que son transportados por el canal fluvial del río desde la cuenca alta pueden llegar acumularse en el sedimento y el agua de la cuenca baja a medida que el caudal del río disminuye (Castañeda et al., 2020).

Figura 15

Fibra microplástica ubicada en el suelo y agua del punto TEJ1

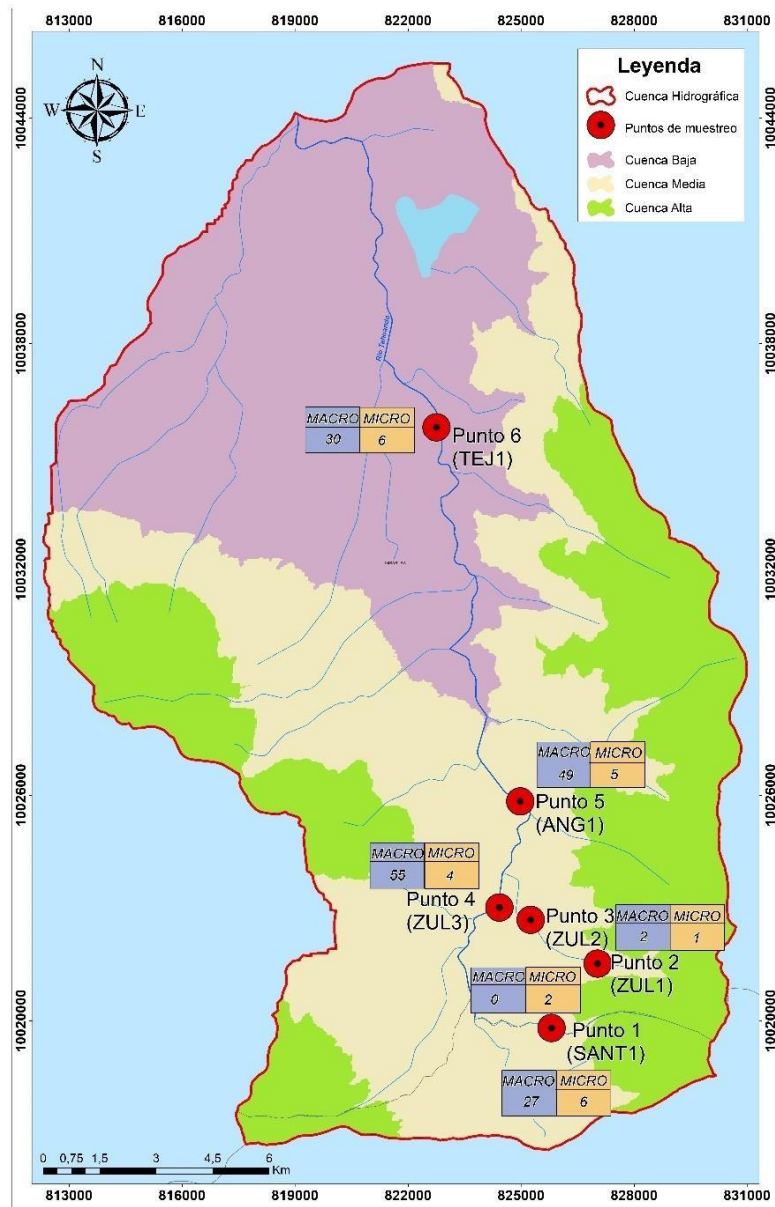


4.2.4 Relación de abundancia y distribución de macroplásticos y microplásticos.

Los desechos plásticos de diferentes tamaños se encuentran estrechamente relacionados en el origen, distribución, impacto ambiental y cadena alimentaria (Figura 16). Los residuos plásticos se encuentran distribuidos en todo el río Tahuando hasta llegar al océano, generan un problema a nivel mundial en los ecosistemas acuáticos debido a su composición ya que son materiales muy persistentes en el medio ambiente durante siglos sin llegar a tener una degradación completa. La abundancia de macroplásticos y microplásticos varía dependiendo la ubicación y las actividades antrópicas que se desarrollan a su alrededor, provocando impactos nocivos en la salud humana y los animales debido a los componentes químicos que se acumulan en la cadena alimentaria (Campoy & Beiras, 2019).

Figura 16

Mapa de abundancia y distribución de macroplásticos y microplásticos en el río Tahuando



4.3 Evaluar la densidad de plásticos y su relación con la fauna acuática (macroinvertebrados) a nivel espacio temporal.

4.3.1 Índices biológicos de macroinvertebrados

Para determinar la calidad de agua en relación con macroinvertebrados, se procedió a realizar 2 índices ABI (índice biológico andino) y BMWP-Col que ayudaron a concluir cual es la naturaleza del agua con respecto a estos microorganismos, para ello existe una categorización del puntaje que se obtiene dando como resultado si el agua que se está realizando el muestreo tiene buena o mala naturaleza. Los plásticos se ubican en la cadena

trófica de los organismos acuáticos provocando la extinción de las especies debido a inanición que es la extrema debilidad física que tienen los animales por falta de alimento, causando pérdida de este tipo de microorganismos que habitan en ecosistemas acuáticos (López et al., 2022).

Se clasificaron e identificaron un total de 1 023 macroinvertebrados que se encuentran en el agua del río Tahuando, en el cual se obtuvo un total de 18 familias diferentes como se indica en la Tabla 11. El punto con mayor cantidad de macroinvertebrados recolectados e identificados es ANG1 que se encuentra en la cuenca media – baja del río (2 790 msnm). Las familias con mayor frecuencia en los puntos monitoreados son Oligochaeta y Chironomidae, seguidos por la familia Empididae y Hyalellidae, por otro lado, la mayor riqueza se identificó en ANG1 con 10 diferentes familias identificadas que predominaban Oligochaeta, Chironomidae y Empididae.

Tabla 11

Abundancia de macroinvertebrados recolectados en el río Tahuando

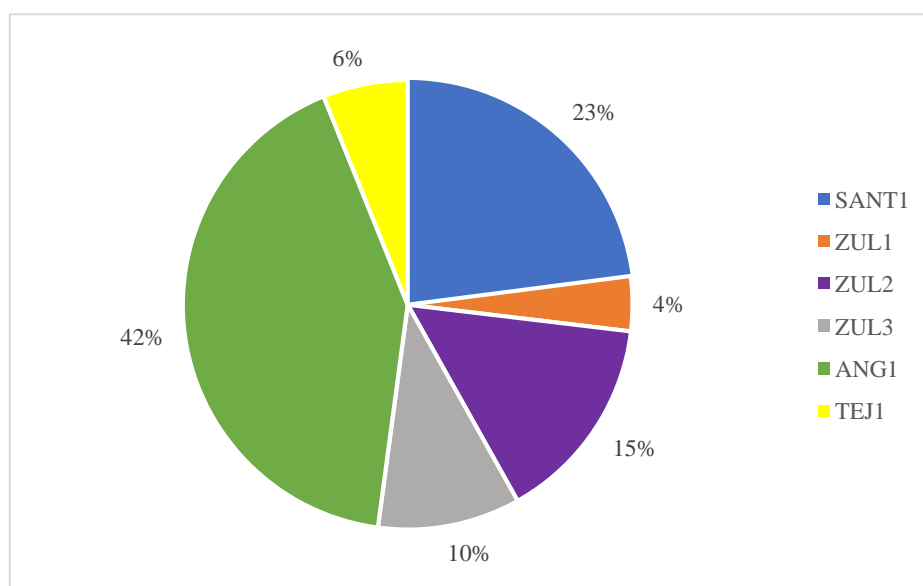
Punto de muestreo	Familia	Abundancia total
SANTI	<i>Ceratopogonidae</i>	8
	<i>Chironomidae</i>	15
	<i>Coenagrionidae</i>	1
	<i>Empididae</i>	3
	<i>Hirudinea</i>	2
	<i>Leptohyphidae</i>	2
	<i>Oligochaeta</i>	167
	<i>Physidae</i>	19
	<i>Simuliidae</i>	16
	ZUL1	<i>Chironomidae</i>
<i>Empididae</i>		1
<i>Hyalellidae</i>		5
<i>Oligochaeta</i>		18
<i>Scirtidae</i>		1
<i>Simuliidae</i>		1
ZUL2	<i>Ceratopogonidae</i>	2
	<i>Elmidae</i>	2
	<i>Hirudinea</i>	2
	<i>Hyalellidae</i>	135
	<i>Limoniidae</i>	10
	<i>Lymnaeidae</i>	1
ZUL3	<i>Ceratopogonidae</i>	1
	<i>Chironomidae</i>	1
	<i>Hirudinea</i>	4
	<i>Hyalellidae</i>	79
	<i>Limoniidae</i>	2
	<i>Oligochaeta</i>	11

ANGI	<i>Scirtidae</i>	6
	<i>Ceratopogonidae</i>	8
	<i>Chironomidae</i>	39
	<i>Empididae</i>	16
	<i>Hirudinea</i>	8
	<i>Hyaellidae</i>	5
	<i>Limoniidae</i>	1
	<i>Muscidae</i>	6
	<i>Oligochaeta</i>	306
	<i>Physidae</i>	34
TEJI	<i>Planariidae</i>	1
	<i>Chironomidae</i>	1
	<i>Elmidae</i>	6
	<i>Hydropsychidae</i>	3
	<i>Leptophlebiidae</i>	10
	<i>Oligochaeta</i>	1
	<i>Physidae</i>	27
	<i>Planariidae</i>	9
	<i>Simuliidae</i>	5

La abundancia de macroinvertebrados es un indicador clave en ambientes hídricos para determinar el tipo de agua que se encuentra (Figura 17). Estos animales acuáticos son especies sensibles a las transformaciones bruscas en el agua, debido a la contaminación por nutrientes y productos químicos, la existencia y cantidad de estos animales acuáticos puede influir en la biodiversidad acuática con el fin de obtener una gestión sostenible entre los seres humanos y la vida marina (Rivas & Ornela, 2021).

Figura 17

Abundancia porcentual de macroinvertebrados recolectados en las zonas de muestreo del río Tahuando



Los macroinvertebrados presentan una gran variedad de familias que se han identificado en las áreas de monitoreo de esta investigación (Figura 18, 19, 20, 21, 22 y 23). Cada especie desempeña un papel indispensable en ecosistemas fluviales, la familia *Simuliidae* tienen la capacidad de ser filtradores y raspadores capaces de tolerar altas concentraciones de agua contaminada, mientras que los Anélidos como las lombrices se encuentran en los bentos de los cauces fluviales para alimentarse de detritos (Scherer et al., 2017). Cada familia de macroinvertebrados presenta su propio rol ecológico para servir como bioindicadores ecológicos del agua en relación con las condiciones ambientales del área de estudio.

Figura 18

Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto SANTI del río Tahuando

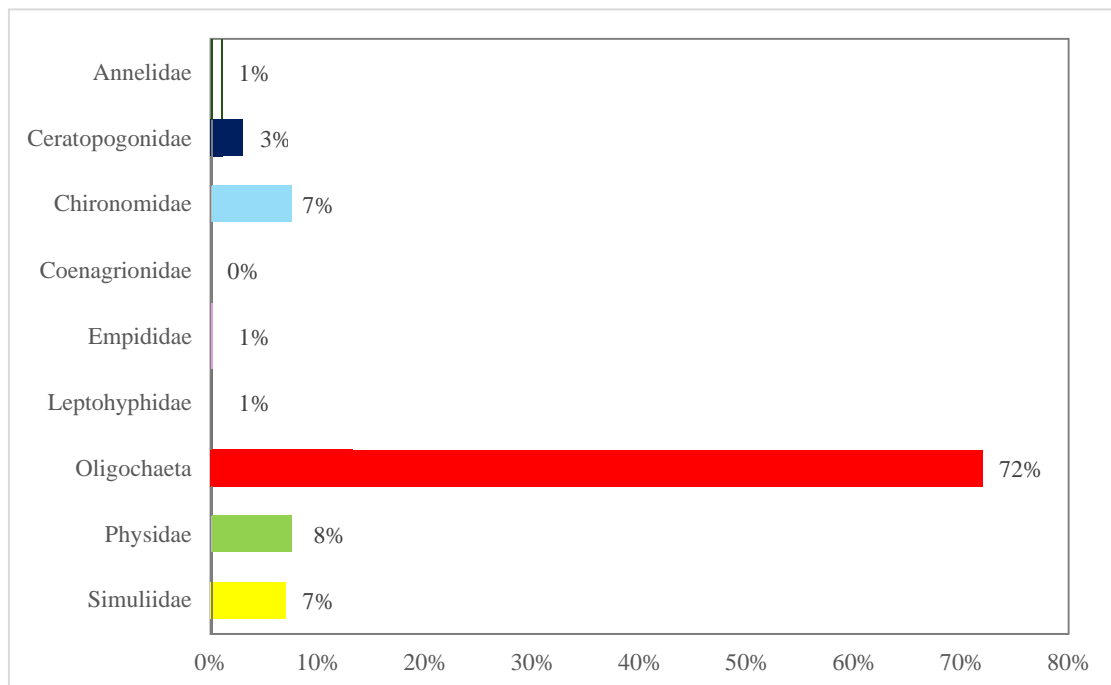


Figura 19

Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ZULI del río Tahuando

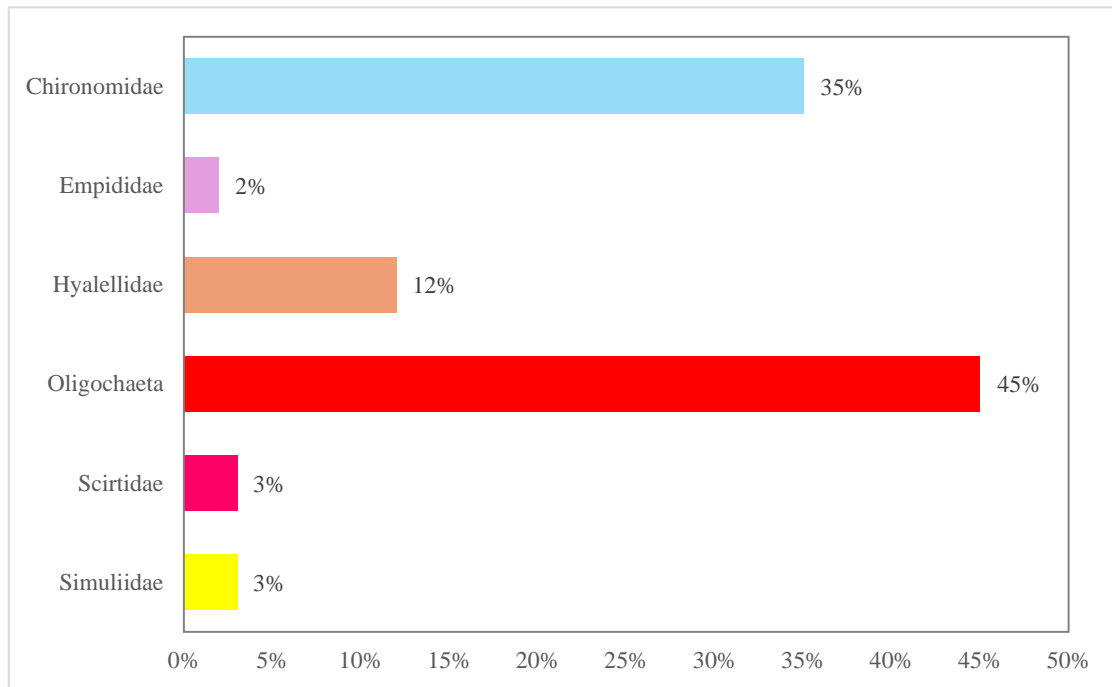


Figura 20

Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ZUL2 en el río Tahuando

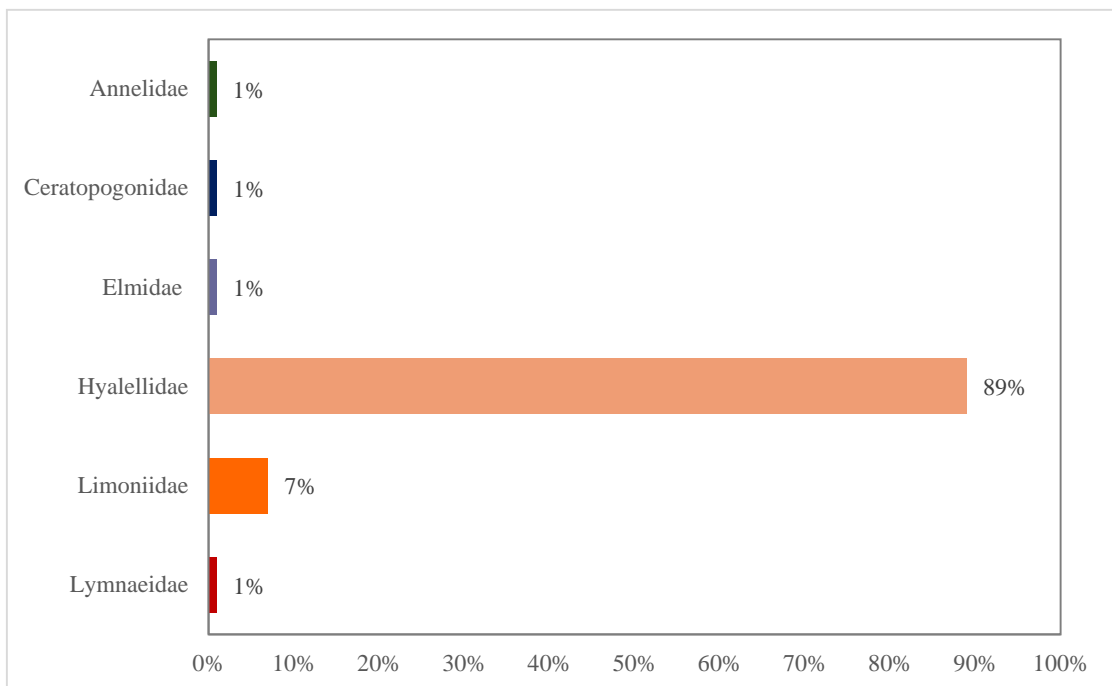


Figura 21

Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ZUL3 en el río Tahuando

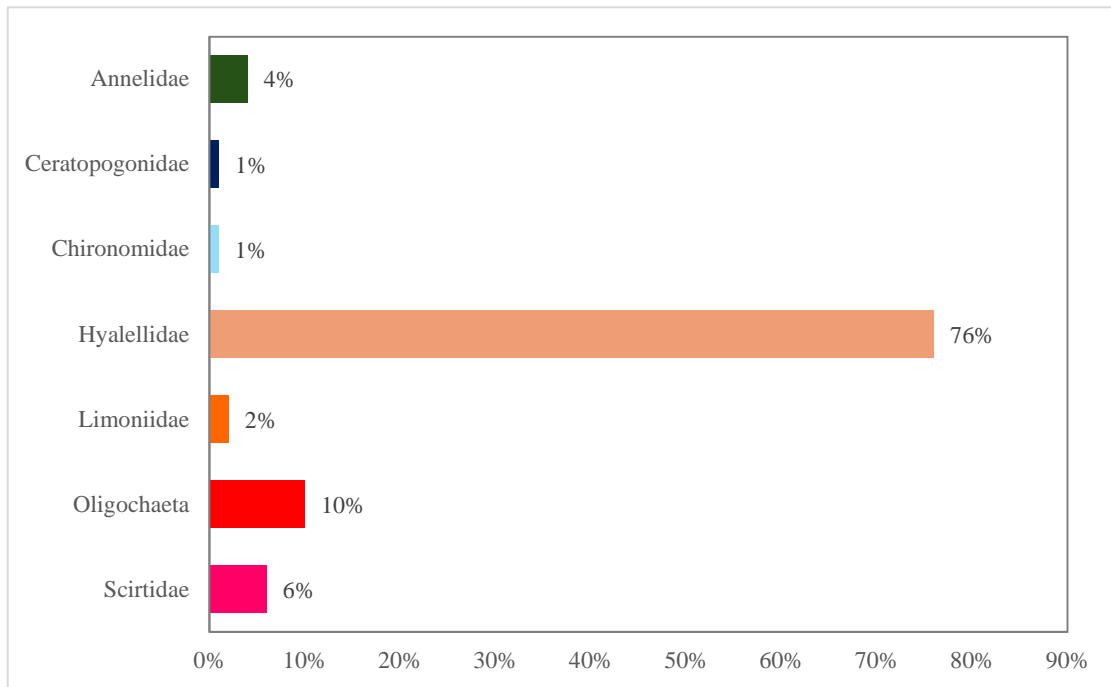


Figura 22

Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto ANGI en el río Tahuando

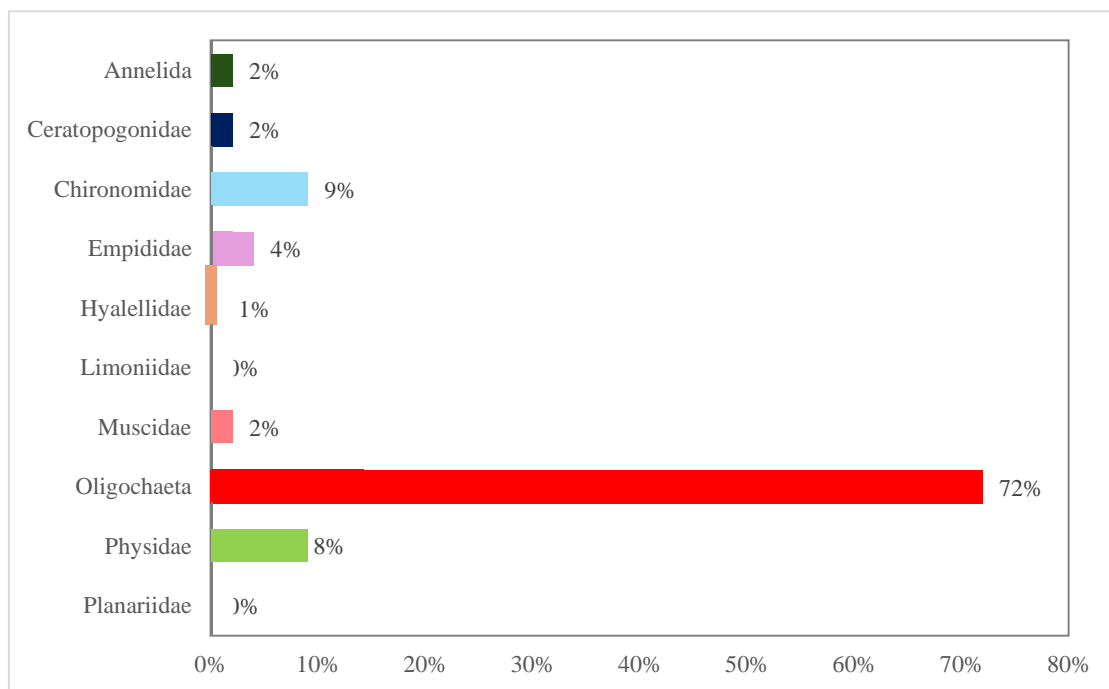
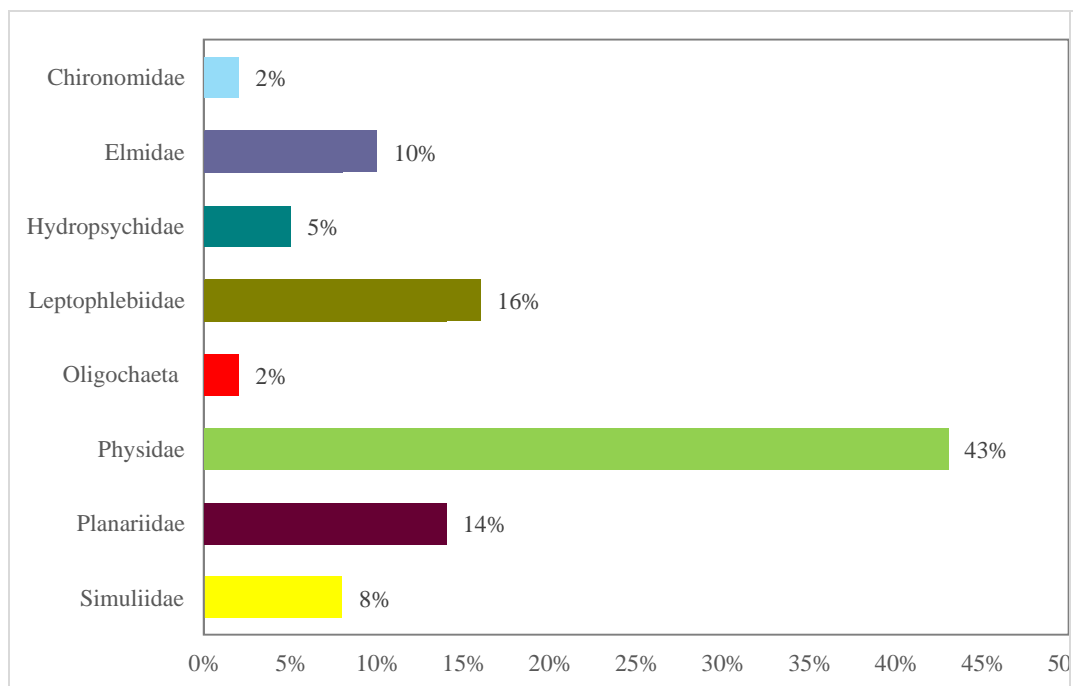


Figura 23

Familias de macroinvertebrados recolectados en el punto TEJI en el río Tahuando



El índice biológico ABI y el índice biológico BMWP-Col intervienen de forma principal en la investigación de este estudio, son capaces de presentar a los organismos acuáticos como bioindicadores que determinen el estado actual del agua, un análisis general demuestra que actualmente el agua de la cuenca hidrográfica del río Tahuando presenta condiciones naturales que va desde Muy mala a Dudosa como se indica en la Tabla 12. Existe una gran cantidad de actividades antrópicas y basura plástica que hace que los organismos acuáticos más sensibles a la contaminación puedan desaparecer dejando los organismos más fuertes para este tipo de ecosistemas. Los macroinvertebrados tienen gran importancia en los ambientes acuáticos porque construyen la biomasa animal y transfieren energía para las redes tróficas, permitiendo evaluar las condiciones biológicas de los ecosistemas afectados por perturbaciones antrópicas o naturales (López et al., 2022).

Tabla 12

Estado actual del agua según los índices biológicos ABI y BMWP-Col en relación con macroinvertebrados

Puntos de muestreo	ABI	Calidad de agua	BMWP-Col	Calidad de agua
SANT1	35	Muy mala	35	Crítica
ZUL1	23	Muy mala	29	Crítica
ZUL2	25	Muy mala	20	Crítica
ZUL3	25	Muy mala	20	Crítica
ANG1	34	Muy mala	29	Crítica
TEJ1	36	Mala	41	Dudosa

Se puede evidenciar que existe gran presencia de plásticos a lo largo de toda la biota del río Tahuando (Figura 24 y 25), sin embargo, investigaciones empíricas han demuestran que la ingesta de plásticos por parte de organismos acuáticos es dependiente de la acumulación que presentan, es decir, que mientras mayor exhibición exista a los plásticos mayor será su consumo (Campoy & Beiras, 2019). Es evidente que a medida que las cantidades de polución se elevan se disminuirá la riqueza de grupos taxonómicos, estos organismos recolectan el material que se encuentra en el sedimento sirviendo como fuente de alimento, la exposición a plásticos conlleva la transferencia de sustancias tóxicas que se encuentran adheridas al polímero provocando daños en los seres humanos y principalmente en ecosistemas hídricos debido a su acumulación (Scherer et al., 2017).

Figura 24

Indicadores biológicos BMWP-Col y ABI en relación con abundancia de macroplásticos

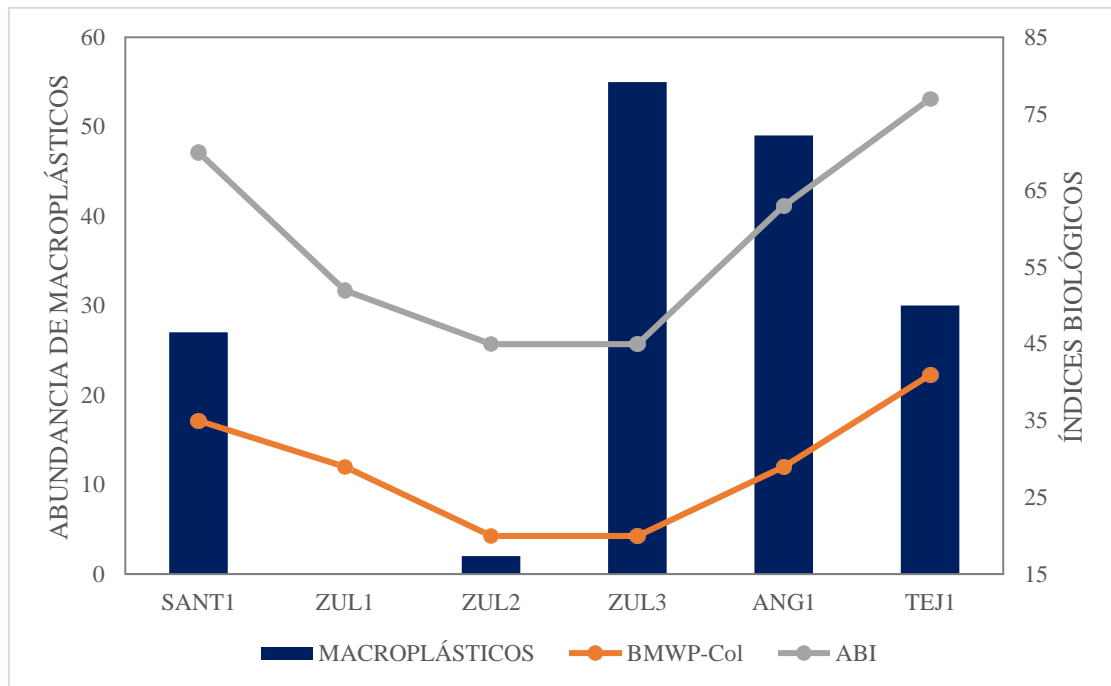
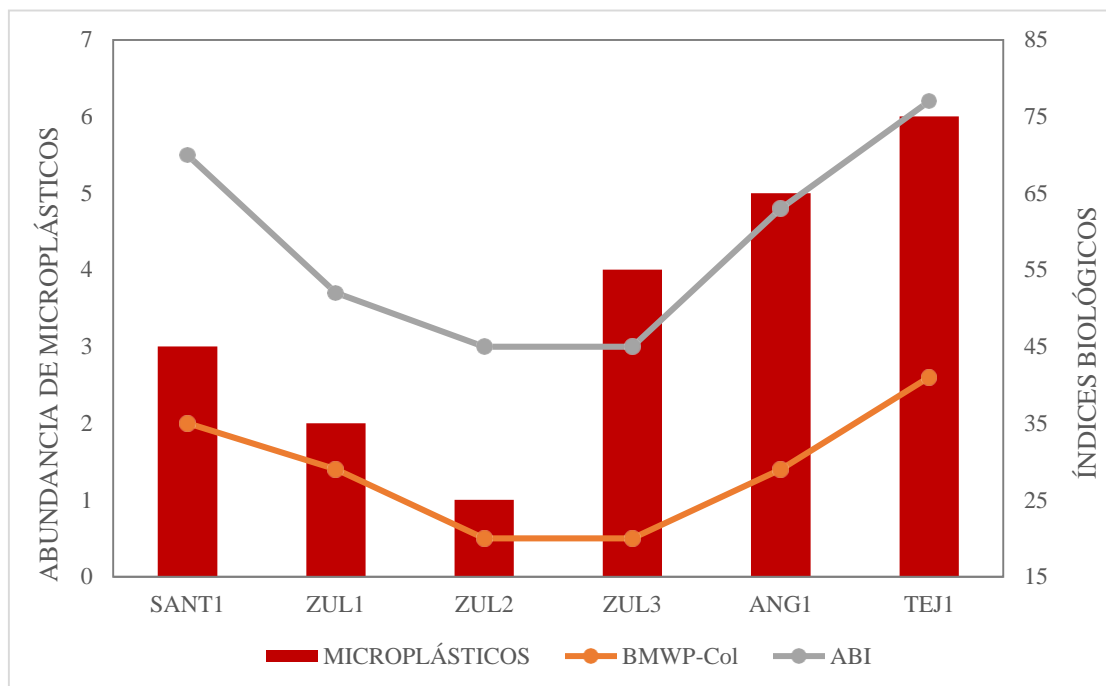


Figura 25

Indicadores biológicos BMWP-Col y ABI en relación con abundancia de microplásticos

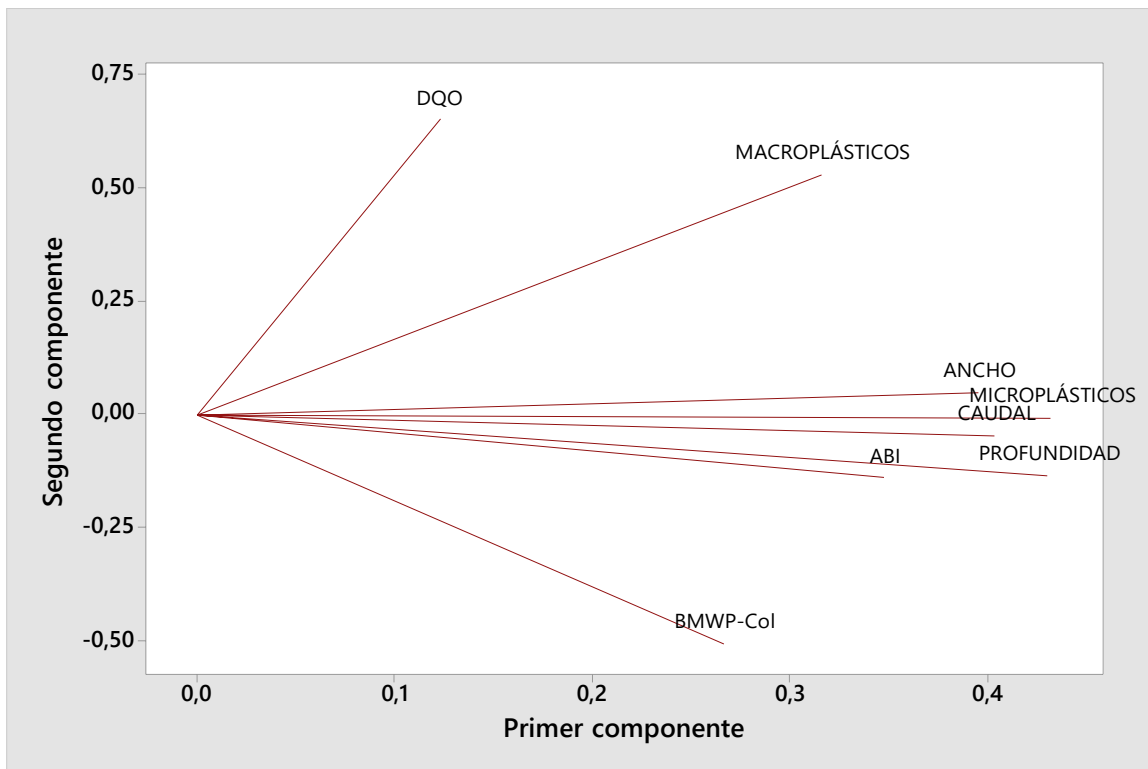


4.3.2 Análisis estadístico entre macroinvertebrados y abundancia de macroplásticos y microplásticos.

Para determinar la relación de las condiciones ambientales se tomó en cuenta los indicadores de la naturaleza del agua, macroplásticos, microplásticos, ancho del río, profundidad del río, demanda química de oxígeno (DQO) y caudal en el desarrollo de componentes principales (Figura 26). Se logró determinar una correlación inversamente proporcional entre los macroplásticos que se encuentran en el primer cuadrante y BMWP-Col que se encuentra en el cuarto cuadrante, indicando que mientras más alejados se encuentran los datos la relación de las variables es negativa. Sin embargo, existe una relación positiva entre los microplásticos y el caudal, debido a que, si se presenta un caudal con mayor velocidad en el flujo de agua, aumentaría la capacidad de transporte de partículas plásticas especialmente en los cuerpos de agua en movimiento.

Figura 26

Análisis de componentes principales entre las variables ambientales y desechos plásticos



La correlación que tienen las condiciones de la investigación se realizó mediante un análisis estadístico ANOVA. Con la finalidad de poder comparar la abundancia de macroplásticos en los diferentes puntos de muestreo, una vez realizado el análisis estadístico, se determinó que se admite la hipótesis alternativa ($p= 0.000$) en la que al menos un valor de las medias es diferente y se rechaza la hipótesis nula. Existe diferencia significativa en los puntos de muestreo, el punto 4 conocido como ZUL3 presenta la mayor cantidad de plásticos en todo el río Tahuando, es decir, mientras se mantengan las mismas actividades antrópicas los desechos plásticos aumentaran en los lugares en los que se presente mayor cantidad de población (Viso, 2017).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La presencia de macroplásticos se evidencio en todos los sitios de monitoreo del río Tahuando, existe gran abundancia y distribución en los sistemas fluviales a lo largo del río. El aumento de estos residuos presenta una relación con las actividades antrópicas aumentando los niveles de contaminación, este tipo de contaminación daña los ecosistemas naturales y procesos fisiológicos que se desarrollan en el medio ambiente, reducen la idoneidad de los ambientes para poder buscar un equilibrio en condiciones climáticas, provocando afectaciones directas a los organismos acuáticos y seres humanos. Existen áreas que a pesar de encontrarse alejadas de las zonas urbanas en la que existe gran cantidad de cobertura vegetal, se encontró presencia de plásticos en una mínima cantidad por las perturbaciones antrópicas que se llevan a cabo cerca de la zona de estudio.

La polución proveniente por microplásticos es un conflicto que cada vez afecta de forma notoria a los cauces fluviales, a lo largo del estudio realizado se ha determinado que en todos los puntos de muestreo establecidos se evidenció la existencia de microplásticos causados por la degradación de plásticos más grandes. El punto 6 ubicado en el Tejar, es el lugar que mayor abundancia de microplásticos presenta debido a que se localiza en una zona baja del río Tahuando. La acumulación de residuos sólidos y las actividades antrópicas influyen de manera directa en el aumento de desechos plásticos que con el pasar del tiempo representan amenaza para animales acuáticos y seres humanos, ya que son capaces de transportar compuestos altamente tóxicos que son ingresados en la cadena alimentaria de los seres vivos.

Los animales acuáticos o macroinvertebrados del río Tahuando presentan diferentes formas taxonómicas en los sitios de monitoreo, con una abundancia de 1 023 individuos, mientras que su riqueza se determinó por la presencia de 18 especies de familias diferentes. El contenido que tiene el sedimento de los ríos con altos índices de contaminación puede causar daños irreversibles a las familias de macroinvertebrados, puesto que cuando las plantas de la ribera son intervenidas por situaciones externas como actividades agrícolas y ganaderas se pierde gran parte de alimento y protección para estos microorganismos.

5.2 Recomendaciones

La falta de control y regulaciones que existe en la zona permite la aglomeración de residuos plásticos aumentando la contaminación en los ecosistemas acuáticos, es por ello que las entidades gubernamentales que se encargan de la protección y conservación de los cuerpos hídricos deben generar medidas de recolección y disposición final de los plásticos para evitar que la magnitud del problema pueda expandirse a sitios que aún no se encuentran con gran cantidad de contaminación.

Es indispensable desarrollar más sitios de muestreo en la parte baja del río Tahuando que ayuden a la búsqueda de soluciones para los cuerpos hídricos que actualmente presentan un alto índice de contaminación debido al consumismo que presenta la población.

Realizar la identificación de microplásticos mediante un microscopio con luz polar, para tener una mejor visión de cada residuo y poder obtener los tamaños de las partículas plásticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta González, G., Carrillo Rosales, D., & Caballero Vázquez, A. (2022). *Contaminantes por microplásticos*. 73, 1–100.
- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. *Limnetica*, 28(1), 35–64. <https://doi.org/10.23818/limn.28.04>
- Arcos, J., & Marín, B. (2021). *La actualidad de los tipos de envases plásticos para alimentos*. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 3(6), 1–16. <https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id176>
- Arriaza, J., Sandoval, G., Cortes, E., & Pozo, K. (2017). *Un Mar de Micro Plásticos en Chile: Propuestas para minimizar sus efectos en Salud y el Medioambiente*. [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18959>
- Calderón, B., Ochoa, F., Malagón, M., & Bernal, J. (2004). *Imbabura*. Clima del Ecuador. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf
- Cabrera, S., Eurie Forio, M. A., Lock, K., Vandenbroucke, M., Oña, T., Gualoto, M., Goethals, P. L. M., & Der Heyden, C. Van. (2021). Variations in benthic macroinvertebrate communities and biological quality in the aguarico and coca 53 river basins in the ecuadorian amazon. *Water (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/w13121692>
- Cabrera-García, S., Goethals, P. L. M., Lock, K., Domínguez-Granda, L., Villacís, M., Galárraga-Sánchez, R., Van der heyden, C., & Eurie Forio, M. A. (2023). Taxonomic and Feeding TraitBased Analysis of Macroinvertebrates in the Antisana River Basin (Ecuadorian Andean Region). *Biology*, 12(11), 1386. <https://doi.org/10.3390/biology12111386>
- Campoy, P., & Beiras, R. (2019). *Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos*. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(2), 61–70. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169428420005>
- Carrera-Reyes, Carlos., & Fierro-Peralbo, Karol. (2001). *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia.
- Castañeda, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., & Manzano, C. (2020). *Microplásticos un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición*. Una Herramienta Didáctica. *Ikastorratza E-Revista de Didáctica*, 11, 1–19. https://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf
- Celi, S., Andrade, D., Loza, S., & Bermeo, T. (2023). *Microplásticos, un problema de salud pública emergente*. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Dávalos, M., & Chiriboga, C. (2010). *Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de aguas residuales que recepta el Río Tahuando*.

- Díaz, H., & Torres, J. (2000). Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 3(5), 57–63. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v3i5.2539>
- Durán, D. (2020). *Guía de acciones para reducir la contaminación por plásticos de un solo uso en los municipios de Colombia*.
- Elías, R. (2015). *Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar*. 27, 83–105.
- Encalada, A., Guayasamin, J., Suárez, E., Mena, C., Lessmann, J., Sampedro, C., Martínez, P., Ochoa, V., Swing, K., Celinscak, M., Schreckinger, J., Vieira, J., Tapia, A., Serrano, C., Barragán, K., Andrade, S., Alexiades, A., & Troya, M. J. (2019). *Los ríos de las cuencas Andino - Amazónicas*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292015000400007
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de Ríos Andinos (CERA-S)*.
- García, A. (2019). *Contaminación por plásticos*. <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-plasticos-causas-consecuencias-y-soluciones-2114.html>
- García, M. (2021). *Los grandes beneficios de los plásticos*. <https://itp.edu.co/ITP2022/wp-content/uploads/2018/08/Perturbaciones-antropicas-y-calidad-biologica-del-agua-del-río-Sangoyaco-municipio-de-Mocoa.pdf>
- Gil-Marín, J. A., Vizcaino, C., & Montaña-Mata, N. J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79(1), 111. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>
- Gómez, G. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico-botellas sobre el medio vicerrectoría general de universidad abierta y a distancia facultad de ciencias y tecnologías administración ambiental y de los recursos naturales facatativá, cundinamarca año 2016*.
- Ingeborg, Z., & Peña, F. (2013). *Ambiental: Una revisión plastic products in agriculture: benefice and ambient cost: A review*. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(2), 61–70. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169428420005>
- Lacerot, G., Lozoya, J. P., & Teixeira de Mello, F. (2020). Plásticos en ecosistemas acuáticos: Presencia, transporte y efectos. In *Ecosistemas* (Vol. 29, Issue 3). Asociacion Espanola de Ecologia Terrestre. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2122>
- León, D., Peñalver, P., Ciudad, C., Güemes, S., Muñoz, Miguel, Fuentes, E., Benfatti, E., Aguilar, L., Serrano, L., & Parrilla, R. (2019). *Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos*.
- León-Muez, D., Peñalver-Duque, P., Ciudad Trilla, C., Muñoz, M., Infante, O., Güemes Santos, S., Parrilla Giráldez, R., & Serrano-Martín, L. (2020). First sampling of

- microplastics in streams and rivers of peninsular Spain. *Ecosistemas*, 29(3).
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2087>
- López, S., Huertas, D., Jaramillo, Á., Calderón, D., & Díaz, J. (2022). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería y Desarrollo*, 37(02), 269–288.
<https://doi.org/10.14482/inde.37.2.6281>
- Margenat, H., Ruíz, L., Cornejo, D., Martí, E., Vila, A., Le Roux, G., Hansson, S., & Guasch, H. (2021). *Guía de procedimientos y métodos validos en campo para el monitoreo de los residuos plásticos en los sistemas fluviales de montaña*. 1–64.
- Margenat, H., Ruiz-Orejón, L., Cornejo, D., Martí, E., Vila, A., Le Roux, G., Hansson, S., & Guasch, H. (2021). *Guía de procedimientos y métodos validados en campo para el monitoreo de los residuos plásticos en los sistemas fluviales de montaña*.
- Mendoza Cariño, M., Quevedo Nolasco, A., Bravo Vinaja, Á., Flores Magdaleno, H., de Lourdes LA ISLA DE BAUER, M. DE, Gavi Reyes, F., & Patricia ZAMORA MORALES, B. (2014). *Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México*. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 30(4), 429–436.
- Molina, E., Gómez, W., & De la Cruz, J. (2021). *Contaminacion Marina Por Desechos Plásticos En PaisesDel 8016951*.
- Montoya Moreno, Y., Patiño Zapata, E. Y., Ramírez Arango, E., & Yepes Osorio, E. R. (2019). Calidad biológica y fisicoquímica de tres fuentes de agua y su relación con el fenómeno de El Niño y La Niña. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
<https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1328>
- Morábito, J., Mirábile, C., Salatino, S., Mastrantonio, L., Barone, R., & Comellas, E. (2017). *IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) EN*.
- Muriel, G. (2020). *Detección y monitoreo de microplásticos en sedimentos costeros de marismas de la costa norte del estuario de bahía blanca*.
https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico
- Olaya, M. (2020). *Evaluación de la distribución de macroplásticos y microplásticos mediante sistema de monitoreo en la playa cauchiche ubicada en la isla puná*.
- Orayeva, J. (2020). *Ecuador: Estudio de 10 años sobre microplásticos en el Pacífico oriental / OIEA*. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/ecuador-estudio-microplasticos-pacifico-oriental>
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *MASKANA*, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>

- Pedraza Peña, A. J., & Medina Delgado, J. A. (2021). *Determinación de la influencia de los Micro plásticos y su repercusión en la fauna del ecosistema acuático del Mar Caribe Colombiano*. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/5729>
- Pereira, A., & Dávila, G. (2023). Evaluación de la comunidad de macroinvertebrados y los grupos funcionales de alimentación como indicadores de calidad ecológica del Río Ambi. [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14465>
- Piatti, T. M., & Ferreira, R. A. (2005). *Plásticos: Características, Usos, Producción e Impactos ambientales*. www.edufal.ufal.br
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. (2020). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra*. www.ibarra.gob.ec
- Quiñones, L. (2021, October 22). *El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente | Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2021/10/1498752>
- Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *SCIELO*, 38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000300004
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. In *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN (Vol. 62)*.
- Rivas, M., & Ornela, G. (2021). *Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y patrimonio biocultural de México*. 1–10.
- Robards, C. (2019). *Microplásticos y nanoplásticos en la cadena alimentaria. Situación actual*. 1–33.
- Rodrigues, M., Mayer, F., & Fratucci, C. (2015). *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 24(1), 115–134. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180732864007>
- Rodríguez, P. (2021). *Tipos de plásticos: Clasificación y reciclaje*. <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>
- Rojas, V., & Romero, A. (2024). *Evaluación de la calidad ecológica del río Tahuando mediante la funcionalidad biológica de macroinvertebrados acuáticos*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15525>
- Rojo, D. (2022). *Microplásticos en sedimentos costeros y marinos de la región de Murcia y en Dorada (Sparus Aurata) como especie de interés comercial*.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col*. 958 655-671–9.

Sánchez, J. (2018). *Plásticos y microplásticos en agua, un problema mundial que afecta nuestros sistemas acuáticos.*

Santillán, M. (2018). *Una vida de plástico.*

Scherer, C., Brennholt, N., Reifferscheid, G., & Wagner, M. (2017). Feeding type and development drive the ingestion of microplastics by freshwater invertebrates. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17191-7>

Tavares, D. (2021). *Cómo impactan las actividades humanas en el medio ambiente - Consecuencias.* <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/como-impactan-las-actividades-humanas-en-el-medio-ambiente-3838.html>

ANEXOS

Anexo 1

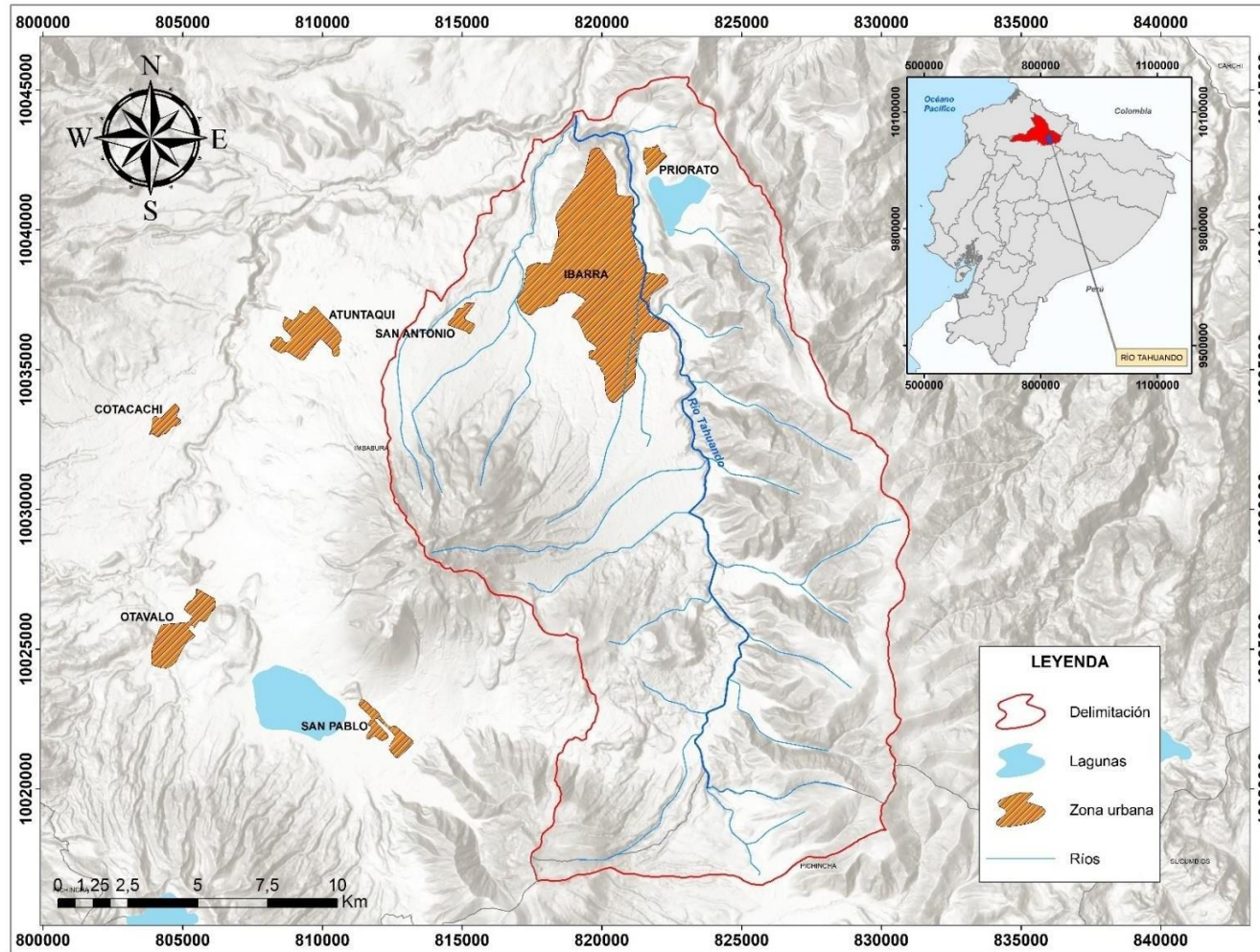
Protocolo CERAs para determinar la calidad hidromorfológica de ecosistemas acuáticos

INCIS O	CARACTERÍSTICAS	CRITERIO	PUNTAJACIÓN	RÍ O
A. 1	Vegetación de ribera de páramo	Páramo herbáceo	5	
		Páramo mixto	5	
		Páramo de frailejones	5	
		Páramo deradado (Hierbas cortas y pisadas)	2	
		Tierra baldía o cangahua	0	
	Total máximo por apartado			
A. 2	Vegetación de ribera de bosque	Bosque de polylepis	5	
		Bosque mixto	5	
		Plantación eucaliptos y pinos	3	
		Matorral arbustos	3	
		Cultivos	1	
		Pastos	1	
	Tierra baldía o cangahua	0		
Total máximo por apartado				
B.	Continuidad de la ribera	Continuo	5	
		Manchas grandes	3	
		Manchas aisladas	1	
	Total máximo por apartado			
		Vegetación natural (páramo o bosque)	5	

C.	Conectividad de la vegetación deribera con otros elementos del paisaje adyacentes	Cultivos y pastos	3	
		Infraestructuras-Elementos de urbanismo (viviendas, carreteras paralelas al río)	2	
		Total máximo por apartado		
D.	Presencia de basuras y escombros	Ribera sin basura ni escombros	5	
		Ribera con basuras y/o escombros escasos	2	
		Ribera con basuras y/o escombros abundantes	0	
		Total máximo por apartado		
E.	Naturalidad del canal fluvial	Canal natural	5	
		Canal modificado por terrazas sin cemento	3	
		Canal con estructuras rígidas parciales	1	
		Canal totalmente modificado por estructuras rígidas	0	
		Total máximo por apartado		
F.	Composición del sustrato	Piedras	Por cada elemento presente se suma 1	
		Canto		
		Arena+arcilla		
		Grava		
		Bloque		
		Total máximo por apartado		
G.	Regímenes de velocidad y profundidad del río	Rápido- somero	Si está presente se suma 1. Si está ausente 0. Si están las 4 opciones se sumará 1 punto extra	
		Rápido- profundo		
		Lento- somero		
		Lento- profundo		
		Total máximo por apartado		
H.	Elementos de heterogeneidad	Hojarasca	La presencia de cada uno suma 1 punto	
		Troncos y ramas		
		Diques naturales		
		Raíces sumergidas		
		Vegetación acuática sumergida (musgos y plantas)		
		Vegetación acuática sumergida (algas)		
		Total máximo por apartado		
SUMA TOTAL				

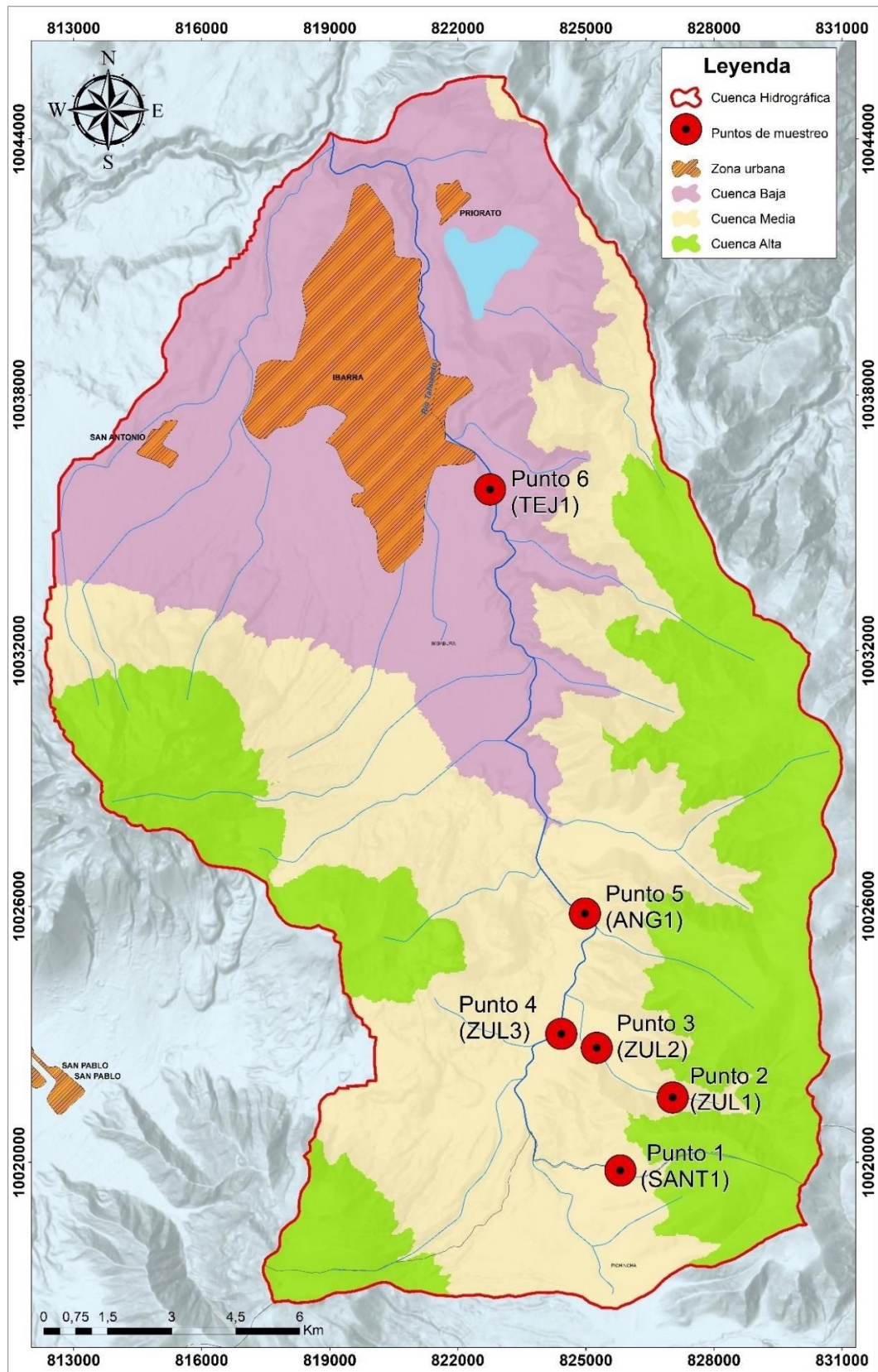
Anexo 2

Mapa de ubicación de la cuenca hidrográfica del río Tahuando



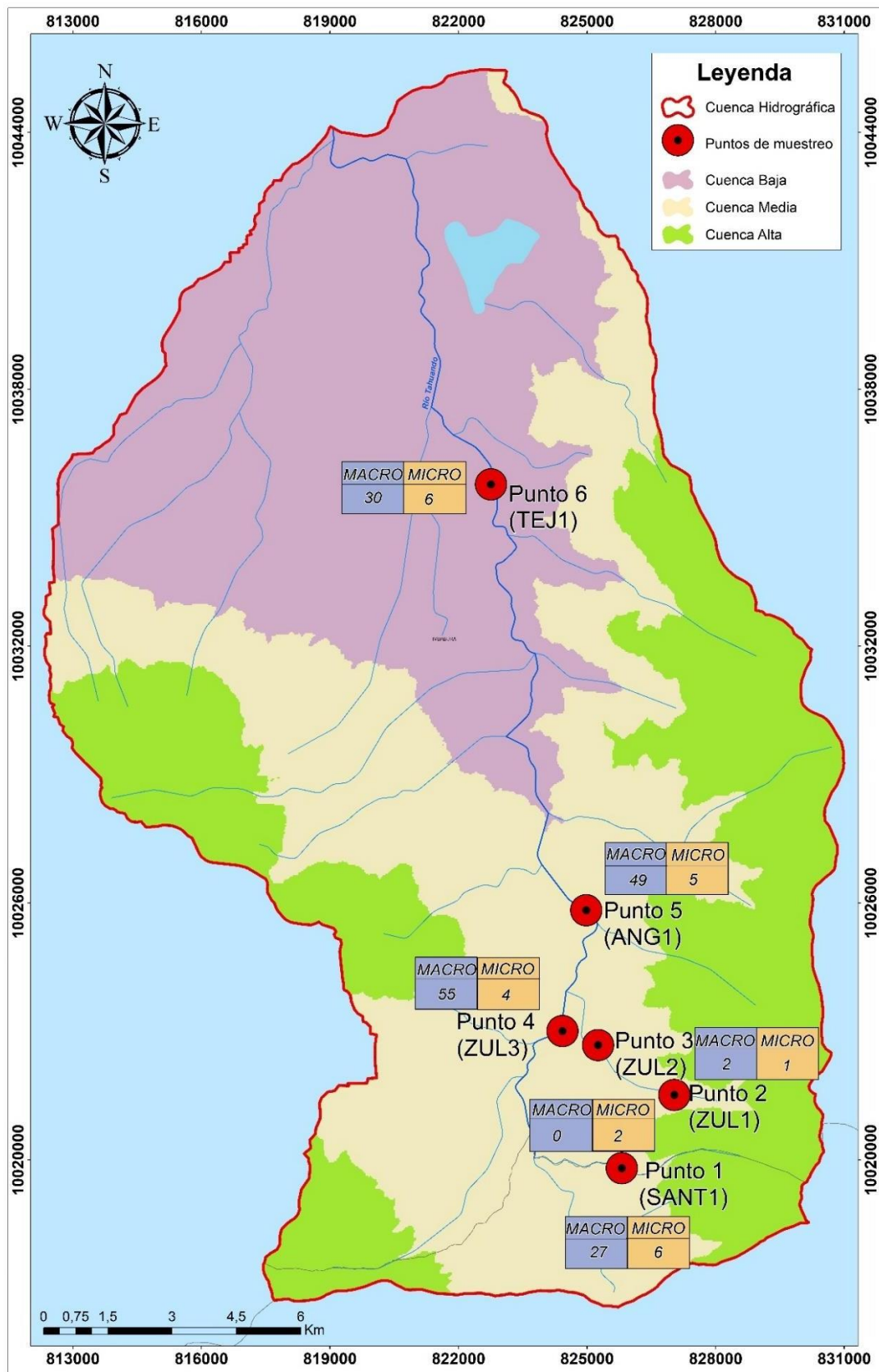
Anexo 3

Mapa de puntos de ubicación del río Tahuando



Anexo 4

Mapa de abundancia de macroplásticos y microplásticos en el río Tahuando



Anexo 5

Macroplástico (botella) encontrada en los puntos de muestreo



Anexo 6

Macroplástico (funda) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando



Anexo 7

Macroplástico (vaso) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando



Anexo 8

Macroplástico (manguera) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando



Anexo 9

Macroplástico (costal) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando




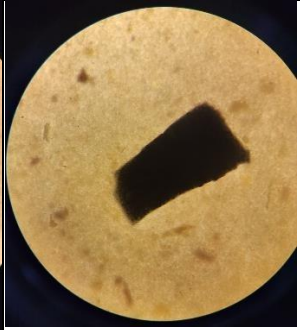
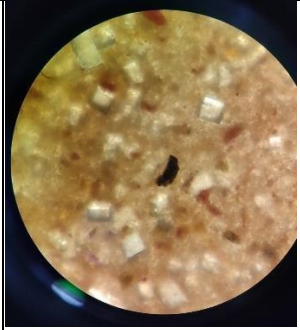


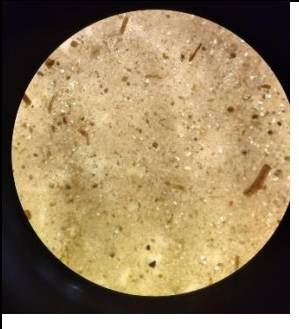

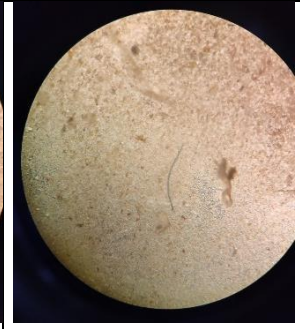
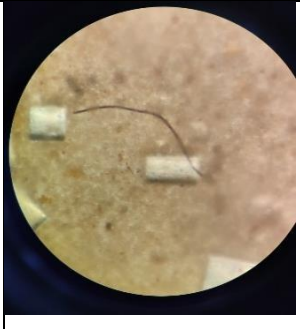

Anexo 10

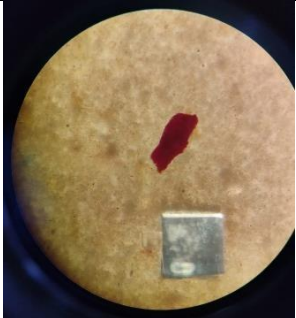

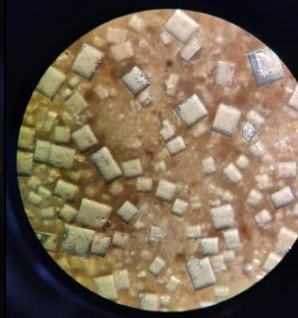

Macroplástico (cuchara) recolectado en los puntos de muestreo del río Tahuando



Anexo 11











Guía de microplásticos recolectados en la cuenca hidrográfica del río Tahuando

				
1 FIBRA	2 FRAGMENTO	3 FRAGMENTO	4 FIBRA	5 MINERALES
				
6 FIBRA - FRAGMENTO	7 FIBRA	8 FIBRA	9 FIBRA	10 FIBRA

				
11 <i>FRAGMENTO</i>	12 <i>MINERALES</i>	13 <i>MINERALES</i>	14 <i>FIBRA</i>	

Anexo 12

Macroinvertebrados recolectados e identificados en la cuenca hidrográfica del río Tahuando

				
1 <i>Oligochaeta</i>	2 <i>Hyalellidae</i>	3 <i>Ceratopogonidae</i>	4 <i>Chironomidae</i>	5 <i>Simuliidae</i>
				
6 <i>Annelidae</i>	7 <i>Empididae</i>	8 <i>Tipulidae</i>	9 <i>Elmidae</i>	10 <i>Lampyridae</i>

Anexo 13

Análisis estadístico ANOVA en relación con la abundancia de macroplásticos en los puntos de muestreo

