

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

DETERMINACION DEL POTENCIAL DE ACUMULACIÓN DE  
MICROPLASTICOS EN EL TRACTO DIGESTIVO EN LA ESPECIE  
*Oncorhynchus mykiss*, MEDIANTE BIOENSAYOS DE  
TOXICIDAD

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL

CAIZA YUNDA RUBY GIMABEL

[ruby.caiza@epn.edu.ec](mailto:ruby.caiza@epn.edu.ec)

CRIOLLO CANCÁN YADIRA ESTEFANÍA

[yadira.criollo@epn.edu.ec](mailto:yadira.criollo@epn.edu.ec)

DIRECTOR: BALAREZO AGUILAR ANA LUCÍA

[ana.balarezo@epn.edu.ec](mailto:ana.balarezo@epn.edu.ec)

CO-DIRECTOR: MINAYA MALDONADO VERÓNICA GRACIELA

[veronica.minaya@epn.edu.ec](mailto:veronica.minaya@epn.edu.ec)

Quito, septiembre 2021

## **DECLARACIÓN**

Nosotras Ruby Gimabel Caiza Yunda y Yadira Estefanía Criollo Cancán, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**RUBY GIMABEL CAIZA YUNDA**

---

**YADIRA ESTEFANÍA CRIOLLO CANCÁN**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Ruby Gimabel Caiza Yunda y Yadira Estefanía Criollo Cancán, bajo nuestra supervisión.

---

**Ing. Ana Lucía Balarezo Aguilar**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Ing. Verónica Graciela Minaya Maldonado**

**CO-DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a mi madre María que ha sido un constante apoyo a lo largo de mi vida; con su amor, trabajo y sacrificio he llegado hasta aquí. A mi padre Arturo que me ha enseñado a seguir mis sueños sin importar los obstáculos.

A mi hermana Heidy por su amor, risas, consejos y momentos compartidos que me han ayudado en la vida.

A Andrés que he compartido grandes experiencias durante mi vida universitaria y sigue conmigo, apoyándome y aconsejándome para no rendirme en el camino.

A mi hija Eira, que, aunque todavía no la conozco, me da fuerzas para ser una mejor persona, y gracias a ella he podido aprender y disfrutar momentos que nunca imagine hacerlo.

A mis amigos Luis, Isra, Jona y Yadi que estuvieron durante toda mi carrera universitaria, gracias por no dejarme sola y entenderme, darme una mano cuando lo necesitaba.

A nuestras directoras de tesis, Ing. Balarezo e Ing. Milaya por su guía durante la realización de este proyecto, su constante ayuda, preocupación y apoyo incondicional.

A la Escuela Politécnica Nacional, por el conocimiento adquirido dentro de sus aulas, me ha permitido llegar al final de esta importante etapa.

**Ruby**

## AGRADECIMIENTO

A mi hija Emma Sophia, quien día a día me dio las fuerzas y el ánimo para seguir adelante pese a todas las adversidades. Es ella quien me enseñó a ver la verdadera belleza de la vida y se ha convertido en la fuente de inspiración para superarme cada día.

A mi negrito Rodrigo, que desde el día que lo conocí me brindo su apoyo incondicional, estando conmigo en las buenas y malas ocasiones. Gracias por ser un gran padre, esposo, confidente, y amigo, te amo.

A mi mami Inez, porque desde pequeña me enseñó a luchar y alcanzar mis sueños, siempre me motivo a seguir adelante. Sus palabras de apoyo llenas de amor hicieron que yo, me motive y me convierta en la persona que soy hoy en día.

A mi papi Luis, quien, pese a la distancia, me ha ayudado a su manera, gracias por el apoyo incondicional que me has brindado. A mi hermano Pinju, porque es un ejemplo a seguir y cerca o lejos me ha dado la mano cuando lo he necesitado. Gracias por tanto cariño.

A mis pequeños Llaverito y Paku, quienes han estado a mi lado durante todo este proceso y me han dado mucho amor. Son muy importantes en mi vida.

A mis tutoras de tesis Ing. Anita e Ing. Verito, gracias por brindarme su tiempo y sus conocimientos para realizar este proyecto de titulación, han sido mi guía durante este largo proceso. Sin su ayuda hubiese sido más difícil alcanzar este objetivo.

Gracias a todos, con cariño:

**Yadi**

## DEDICATORIA

Por estar siempre a mi lado,

les dedico con todo mi corazón a:

Mafer, Arturo, Heídy, Eira, Andrés, Dalía y Scarlett.

Cada día que pasa los amo más y más.

Ruby

## DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño para:

Emma Sophía, Rodrigo, Inez, Luís, Javí, Llaverito y Paku.

Por ustedes y para ustedes todo, hasta mi vida.

Los amo

Yadí

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.3 ALCANCE.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	4
<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>6</b>
2.1 PLÁSTICOS .....	6
2.1.1 TIPOS DE PLÁSTICO .....	6
2.1.1.1 Reacción al calor .....	6
2.1.1.2 Código de identificación de la resina .....	7
2.1.2 PLÁSTICOS MÁS COMUNES .....	8
2.1.3 LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS.....	9
2.2 MICROPLÁSTICOS.....	10
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS.....	10
2.2.1.1 Microplásticos Primarios .....	11
2.2.1.2 Microplásticos Secundarios .....	11
2.2.2 MICROPLÁSTICOS EN LA BIOTA .....	11
2.2.2.1 Efectos de los microplásticos en los ecosistemas acuáticos .....	11
2.2.2.2 Efectos de los microplásticos en la salud .....	12
2.3 LEGISLACIÓN ECUATORIANA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS .....	13
2.4 GENERALIDADES DE LA ESPECIE <i>Oncorhynchus mykiss</i> .....	14
2.4.1 BIOLOGÍA .....	14
2.4.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.....	15
2.4.3 ASPECTOS COMERCIALES .....	15

<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	16
3.1.1 UBICACIÓN .....	16
3.1.2 CONSTRUCCIÓN DE PISCINAS PARA LOS BIOENSAYOS .....	17
3.1.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS PISCINAS SEGÚN LA CONCENTRACIÓN DE MP USADO PARA EL BIOENSAYO.....	18
3.1.4 PREPARACIÓN DE LA DIETA PARA ALIMENTAR A LOS PECES..	19
3.1.4.1 Obtención de microplástico.....	19
3.1.4.2 Elaboración de los pellets para la dieta alimenticia de los peces....	21
3.1.5 ORGANISMOS DE PRUEBA .....	22
3.2 BIOENSAYO DE TOXICIDAD CON MICROPLÁSTICOS .....	24
3.2.1 ALIMENTACIÓN A LOS ORGANISMOS .....	24
3.2.2 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	25
3.2.3 DISECCIÓN DE LOS ORGANISMOS.....	25
3.2.4 DIGESTIÓN DEL TEJIDO INTESTINAL .....	29
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS .....	30
3.3.1 RELACIÓN LONGITUD-PESO Y FACTOR DE CONDICIÓN DE FULTON K.....	30
3.3.2 ÍNDICE DE REPLECIÓN (IR).....	31
3.3.3 ONE WAY ANOVA .....	32
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
4.1 CALIDAD DEL AGUA DURANTE EL PERIODO DE EXPERIMENTACIÓN.....	33
4.1.1 CALIDAD DEL AGUA DE LAS PISCINAS .....	33
4.2 CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS A MP.....	35
4.2.1 CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS TRUCHAS TRAS 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN A MICROPLÁSTICOS.....	35

4.2.2	RELACIÓN LONGITUD-PESO Y FACTOR DE CONDICIÓN DE FULTON K.....	42
4.2.3	ÍNDICE DE REPLECIÓN (IR).....	44
4.3	CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS .....	45
4.3.1	ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MP EN LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS AL 20% MP Y TAMAÑO DE PARTÍCULA 1.5 Y 3 mm .....	45
4.3.2	ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MP EN LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS AL 10% MP Y TAMAÑO DE PARTÍCULA 3 mm .....	46
4.3.3	ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MP EN LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS AL 5% DE MP Y TAMAÑO DE PARTÍCULA 1.5 mm .....	47
4.3.4	COMPARACIÓN ENTRE LOS GRUPOS DE PRUEBA EXPUESTOS A MP.....	48
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	51
5.2	RECOMENDACIONES.....	54
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentajes de plástico reciclado post consumo .....	14
Tabla 2: Distribución de las piscinas según la concentración (%) de MP usado para el bioensayo .....	19
Tabla 3. Información nutricional Balanceado Piscis S-400.....	21
Tabla 4. Peso de MP y del pienso.....	21
Tabla 5. Concentración, peso y tamaño de pienso y MP utilizado para los distintos grupos de prueba. ....	22
Tabla 6. Peso inicial de los organismos de prueba por piscina .....	23
Tabla 7. Longitud inicial de los organismos de prueba por piscina .....	23
Tabla 8. Concentración de microplástico con su respectiva piscina.....	24
Tabla 9. Concentración de MP y balanceado para las distintas piscinas .....	25
Tabla 10. Calidad del agua.....	25
Tabla 11. Longitud final de los organismos de prueba por piscina.....	26
Tabla 12. Ancho final de los organismos de prueba por piscina .....	26
Tabla 13. Peso final de los organismos de prueba por piscina .....	27
Tabla 14. Peso del tracto digestivo de los organismos de prueba por piscina .....	28
Tabla 15. Peso del MP del tracto digestivo del trucha por piscina .....	30
Tabla 16. Rangos permisibles, valores óptimos y valor promedio de los parámetros de calidad del agua .....	33
Tabla 17. Ecuación de relación longitud-peso, para el 20,10 y 5% de MP y coeficiente de correlación $r^2$ .....	42
Tabla 18. Grado de estrés obtenido en los individuos de las piscinas sometidas a MP (muestra y replica) y la piscina de control tras aplicar la ecuación del factor de la condición de Fulton.....	43
Tabla 19. % MP suministrado, acumulado y eliminado, en los individuos expuestos al 20% de MP y tamaño de partícula 1.5 y 3 mm.....	46
Tabla 20. % MP suministrado, acumulado y eliminado, en los individuos expuestos al 10% de MP y tamaño de partícula 3 mm. ....	47
Tabla 21. % MP suministrado, acumulado y eliminado, en los individuos expuestos al 5% de MP y tamaño de partícula 1.5 mm. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reducción del plástico de un solo uso por lapsos de tiempo .....	13
Figura 2. <i>Oncorhynchus mykiss</i> .....	14
Figura 3. Ubicación criadero “Rincón Torcasa” .....	16
Figura 4. Dimensiones piscinas de ensayo .....	17
Figura 5. Vista en planta de las piscinas para el ensayo.....	17
Figura 6. Limpieza del terreno y excavación de pozos; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 7. Instalación de tubería PVC.....	18
Figura 8: Vista en planta de la distribución por concentración de MP en las piscinas usadas para el bioensayo.....	19
Figura 9. Ubicación fabrica “MILL POLÍMEROS” .....	20
Figura 10. Tipos y colores de polímeros de PVC .....	20
Figura 11. Elaboración del pienso más microplástico .....	22
Figura 12. Caracterización morfométrica de la trucha arco iris .....	27
Figura 13. Disección de la trucha arco iris .....	28
Figura 14. Preparación de la solución de NaOH al 10% (w/w).....	29
Figura 15. Digestión de algunas muestras del tracto digestivo .....	29
Figura 16. Extracción y pesaje del microplástico.....	30
Figura 17. Promedio diario de temperatura de las piscinas durante la fase de experimentación. ....	34
Figura 18. Promedio diario del oxígeno disuelto en el agua de las piscinas durante la fase de experimentación. ....	34
Figura 19. Promedio diario de la conductividad del agua de las piscinas durante la fase de experimentación .....	35
Figura 20: Boxplots de peso inicial y peso final de los organismos del grupo 1 (muestra y réplica), expuestos al 20% de MP versus el grupo de control. ....	36
Figura 21: Boxplots de longitud inicial y longitud final de los organismos del grupo 1 (muestra y réplica) expuestos al 20% de MP versus el grupo de control	37
Figura 22: Boxplots de peso inicial y peso final de los organismos del grupo 2 (muestra y réplica) expuestos al 10% de MP versus el grupo de control. ....	38
Figura 23: Boxplots de longitud inicial y longitud final de los organismos del grupo 2 (muestra y réplica) expuestos al 10% de MP versus piscina de control..	39

Figura 24: Boxplots de peso inicial y peso final de los organismos del grupo 3 (muestra y réplica) expuestos al 5% de MP versus el grupo de control .....	40
Figura 25: Boxplots de longitud inicial y longitud final de los organismos del grupo 3 (muestra y réplica) expuestos al 5% de MP versus el grupo de control...	41
Figura 26. Relación Longitud-Peso de los individuos por concentración de MP ..	43
Figura 27. Boxplots que comparan el número de Fulton (signos de estrés) 7de las piscinas sometidas a diferentes concentraciones de MP y el blanco. ....	44
Figura 28. Índice de Repleción por concentración de MP. ....	45
Figura 29: % promedio de MP acumulado o eliminado en los individuos expuestos al 20% de MP.....	46
Figura 30: % promedio de MP acumulado o eliminado en los individuos expuestos al 10% de MP.....	47
Figura 31: % promedio de MP acumulado o eliminado en los individuos expuestos al 5% de MP.....	48
Figura 32: Acumulación y eliminación de MP en los individuos de las concentraciones 20%, 10% y 5%.....	49

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el potencial de acumulación de microplásticos en el tracto digestivo en la especie *Oncorhynchus mykiss*, mediante bioensayos de toxicidad, realizados a nivel piloto, en el criadero de truchas Rincón Torcasa, ubicado en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

Se inició con el diseño experimental, que incluyó 3 grupos de organismos de prueba, a ser expuestos a diferentes concentraciones y tamaño de partícula de microplástico, 5% - 1.5 mm, 10% - 3 mm y 20% - 1.5 y 3 mm, con su respectiva réplica y un grupo de control, cada uno con 10 truchas, hembras adultas, de 185 a 205 g en peso. Seguidamente, se diseñaron y construyeron las 7 piscinas, con flujo continuo de agua de una fuente natural; posteriormente, se determinó el peso y longitud de los organismos para ser aclimatados por 2 semanas, para luego ser expuestos 2 veces por día a alimento deliberadamente contaminado con microplástico, por un periodo de 28 días. Al final del ensayo, los organismos fueron sacrificados, se determinó individualmente su longitud y peso, para finalmente extraer su tracto intestinal y digerirlo para determinar el contenido de microplástico. Los resultados fueron analizados estadísticamente, aplicando el factor de condición de Fulton, la relación peso-longitud, el índice de repleción, y el test One-Way Anova.

Los resultados obtenidos mostraron que el microplástico, se acumuló en el tracto digestivo de las truchas expuestas, en los 3 grupos estudiados, siendo mayor cuanto menor fue la concentración. Así, para el 10% y 5%, la bioacumulación alcanzó el 54% y 40% de microplástico, respectivamente, mientras que para el 20%, la bioacumulación observada fue del 24%. Valores que muestran que además de la concentración del contaminante, el tamaño de este puede jugar un papel crucial en los índices de acumulación.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the potential for accumulation of microplastics in the digestive tract in the *Oncorhynchus mykiss species*, by means of toxicity bioassays, carried out at a pilot level, in the Rincón Torcasa trout farm, located in the Cayambe canton, Pichincha province.

It began with the experimental design, which included 3 groups of test organisms, to be exposed to different concentrations and particle size of microplastic, 5% - 1.5 mm, 10% - 3 mm and 20% - 1.5 and 3 mm, with their respective replica and a control group, each one with 10 trout, adult female, from 185 to 205 g in weight. Next, the 7 pools were designed and built, with a continuous flow of water from a natural source; Subsequently, the weight and length of the organisms were determined to be acclimatized for 2 weeks, to then be exposed 2 times a day to food deliberately contaminated with microplastic, for a period of 28 days. At the end of the trial, the organisms were sacrificed, their length and weight individually determined, to finally extract their intestinal tract and digest it to determine the microplastic content. The results were statistically analyzed, applying the Fulton condition factor, the weight-length relationship, the filling index and the One-Way Anova test.

The results obtained showed that the microplastic, accumulated in the digestive tract of the exposed trout, in the 3 groups studied, the higher the concentration was. Thus, for 10% and 5%, bioaccumulation reached 54% and 40% of microplastic, respectively, while for 20%, the observed bioaccumulation was 24%. Values that show that in addition to the concentration of the pollutant, its size can play a crucial role in the accumulation rates.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo fue realizado en campo, en el criadero de truchas Rincón Torcasa, ubicado en el cantón Cayambe y se encarga de determinar del potencial de acumulación de microplásticos en el tracto digestivo en la especie *Oncorhynchus mykiss*, mediante bioensayos de toxicidad.

El estudio está compuesto por 5 capítulos identificados como:

**Capítulo 1. Introducción.** En este capítulo se encuentran los antecedentes, objetivo general, objetivos específicos, alcance y justificación del ensayo.

**Capítulo 2. Estado del arte.** Comprende información sobre los plásticos, clasificación, uso y regulaciones para la disminución de su uso. También se habla de los microplásticos, clasificación y su problemática en la biota. Y, por último, recopila información de la trucha arcoíris como el sujeto de prueba usado para la experimentación.

**Capítulo 3. Metodología.** En esta sección se encuentra información sobre el diseño experimental, en donde se describe: la ubicación del sitio en donde se realizó el trabajo de campo, el diseño y construcción de los siete pozos o piscinas y la contaminación deliberada del balanceado para peces con microplástico. Además, describe el bioensayo de toxicidad aplicado en la trucha arcoíris. Y, finalmente explica el análisis estadístico usado para el tratamiento de los resultados.

**Capítulo 4. Resultados y discusión.** Analiza los resultados obtenidos del bioensayo de toxicidad con MP efectuado sobre los individuos de la especie denominada *Oncorhynchus mykiss*, con la finalidad de evaluar los efectos en el crecimiento y desarrollo de los individuos de prueba, así como el potencial de acumulación del MP en el tracto digestivo de la especie.

**Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.** En este capítulo final, se emiten tanto conclusiones como recomendaciones que se obtuvieron al finalizar el estudio.

**ABREVIATURAS**

EPS	Poliestireno Expandido
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IR	Índice de Repleción
K	Factor de Condición de Fulton
MP	Microplástico
OD	Oxígeno Disuelto
PC	Policarbonato
PEAD	Poliétileno de Alta Densidad
PEBD	Poliétileno de Baja Densidad
PET	Tereftalato de polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloruro de Vinilo
T	Temperatura

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Los plásticos son polímeros sintéticos y semisintéticos derivados de recursos fósiles, que se desarrollaron a partir del siglo XIX (FAO, 2017). Desde sus inicios han sido ampliamente utilizados por el ser humano en la mayoría de sus actividades diarias tanto en el sector industrial como en el sector doméstico, debido a su bajo costo, versatilidad, durabilidad y su característico peso ligero (Fu *et al.*, 2020).

Existen diversos tipos de plásticos, entre ellos están: el polietileno tereftalato (PET), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno de alta densidad (PEAD), policloruro de vinilo (PVC). El PET, PEBD, PP y PS, en su mayoría son empleados como fundas o envases de un solo uso, por lo que son desechados instantáneamente (Greenpeace, 2016), llegando a convertirse en una fuente ubicua de basura en el planeta (O'Donovan *et al.*, 2018), tanto para los ecosistemas terrestres como para los acuáticos.

Desde 1950 hasta la actualidad, se han producido aproximadamente 8.000 millones de toneladas de plástico en todo el mundo (Jiménez, 2017), de los cuales anualmente solo se recicla un 9%, el 12% se incinera y el 79% es desechado en vertederos o descargado directamente al ambiente (EFE, 2018).

En general, cuando los plásticos son desechados, se descomponen o degradan a microplásticos, en largos periodos de tiempo, y por acción de factores físicos como temperatura, radiación ultravioleta, abrasión física, presión, o por factores biológicos como la biodegradación natural (Fu *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2019).

Los microplásticos alcanzan un tamaño menor a los 5 mm y por acción del viento y la precipitación pueden ser transportados hacia los ecosistemas acuáticos de agua dulce y salada (Andrady, 2011), incidiendo negativamente en gran parte de las comunidades biológicas como: plancton, invertebrados, peces, aves, mamíferos marinos, tortugas, entre otros (O'Donovan *et al.*, 2018).

Una vez disponibles en los ecosistemas acuáticos, los microplásticos ingresan en la cadena alimenticia de forma directa e indirecta, la primera se produce por el consumo directo del microplástico producto de la confusión con el alimento habitual y la segunda es producto de la depredación (Lino & Gaibor, 2019).

Esta ingesta, directa o indirecta, perjudica a gran parte de los organismos acuáticos, entre ellos peces, causando efectos negativos en la fecundidad, supervivencia y su desarrollo (FAO, 2017), pues tienen la capacidad de acumularse en el tracto digestivo y causar daños físicos a las especies acuáticas (Andrady, 2011).

La especie *Oncorhynchus mykiss*, más conocida como trucha arcoíris, es una especie representativa de peces de ríos y lagos de agua dulce oriundos de Norte América, que se caracteriza por vivir en agua frías y limpias (National Geographic, 2010). Su amplia adaptación a diversos ambientes ha permitido que estos individuos puedan ser criados en cautiverio, para su posterior consumo o uso en la pesca deportiva (JACUMAR, 2018).

Por los antecedentes mencionados anteriormente, el presente proyecto de titulación propone la ejecución de bioensayos de toxicidad subagudos, en individuos adultos de la especie *Oncorhynchus mykiss*, por exposición vía oral a microplástico, para determinar el potencial de acumulación en el tracto digestivo. Los resultados de esta investigación serán un aporte, para conocer los efectos de estos microcontaminantes sobre la biota de los ecosistemas acuáticos y también servirá como una herramienta a los tomadores de decisión en la gestión de los plásticos de un solo uso.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el potencial de bioacumulación de microplásticos en la tráquea gastrointestinal de organismos de la especie *Oncorhynchus mykiss*, mediante bioensayos de toxicidad subaguda, a escala piloto, para determinar la cantidad de plástico acumulado durante 4 semanas de exposición.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir y adecuar las piscinas requeridas para los bioensayos de toxicidad, mediante excavaciones de suelo en el área del criadero, con flujo constante de entrada y salida de agua natural.
- Diseñar y preparar manualmente los pellets de alimentación, con 3 diferentes concentraciones y tamaños de microplástico para suministrar a los organismos de prueba, como alimento 2 veces por día
- Aclimatar a las truchas adultas durante 2 semanas en las piscinas piloto, antes de someterlas al bioensayo de toxicidad.
- Exponer a los organismos de prueba al bioensayo de toxicidad subaguda con microplásticos por un periodo de 4 semanas.
- Determinar la cantidad de microplástico acumulado en los organismos luego de 4 semanas de exposición.
- Evaluar si la exposición a microplásticos altera el crecimiento y desarrollo, en la especie *Oncorhynchus mykiss*.

### 1.3 ALCANCE

En este trabajo se determinó la cantidad de microplásticos acumulados en el tracto digestivo de la especie *Oncorhynchus mykiss*. El ensayo de toxicidad aguda se realizó con tres diferentes tipos de concentraciones, 5%, 10% y 20% de microplástico, en relación al peso del alimento diario. Todos los ensayos se efectuaron por duplicado, con una piscina referencia que sirvió para el control de los organismos. La experimentación se llevó a cabo en el criadero de truchas Rincón Torcasa, en Cayambe, provincia de Pichincha. La calidad del agua fue evaluada con la medición de parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. Los resultados obtenidos permitieron conocer el potencial de acumulación de los microplásticos en los organismos acuáticos de

agua dulce, y pueden servir como una guía para la regulación, uso y control de los plásticos de un solo uso.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Los microplásticos al tener un tamaño inferior a los 5 mm, pueden ser confundidos e ingeridos accidentalmente por la biota, como mencionan Mendoza & Mendoza, (2020), quienes, de un total de 120 peces pelágicos muestreados en las costas de Manta, Ecuador, encontraron que el 76% contenía microplásticos. En otro estudio realizado por Gómez *et al.*,(2019), en el río Cordillerano Los Patos, Argentina, de 26 peces bagres otunos, el 38% presentaron microplásticos en su tráquea gastrointestinal. Así mismo, Romeo *et al.*,(2015), en Italia, en el Mar Mediterráneo de 31 peces pelágicos comerciales (albacoras) muestreados, el 75% contenía microplásticos en su tráquea digestiva. En otra investigación ejecutada en Noruega, por Murray & Cowie (2011), en la langosta, de la especie *N. norvegicus* descubrieron que el 83% de los organismos capturados en el mar de Clyde, contenía filamentos de plástico en el estómago. Finalmente, Van Cauwenberghe & Janssen (2014), en sus investigaciones realizadas encontraron microplásticos en el mejillón común de la especie *M. edulis*, del mar del Norte y en la ostra japonesa (*Crassostrea gigas*) del Atlántico, ambas especies cultivadas para consumo humano.

De acuerdo con O'Donovan *et al.*, (2018), los microplásticos pueden tardar en atravesar el tracto digestivo, lo que ocasiona un alto potencial de retención, que puede desencadenar en estrés físico para los peces (Pittura *et al.*, 2018), alterando aspectos de crecimiento, desarrollo, reproducción, entre otros.

La presente investigación pretende observar los posibles cambios en los aspectos de crecimiento y desarrollo de los organismos de la especie *Oncorhynchus mykiss*, cuando son expuestos a diferentes dosis de microplásticos, y el potencial de acumulación de estos microcontaminantes en su sistema digestivo.

La información generada en estos bioensayos servirá de base para que la comunidad conozca los efectos que produce la mala gestión de los desechos

plásticos, que terminan en los cuerpos hídricos y afectan a la biota acuática, y con esto incentivar a la creación de un mejor sistema de gestión de residuos sólidos que favorezca al reciclaje.

Adicionalmente, los resultados serán útiles para motivar campañas de educación ambiental, encaminadas hacia la reducción del consumo y la apropiada disposición final de los plásticos, en la sociedad en general y en específico en las industrias, que utilizan este producto para el empaque, y disminuir los impactos ambientales originados por estos polímeros.

## CAPÍTULO 2

### ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 PLÁSTICOS

Los plásticos son materiales orgánicos formados por polímeros constituidos por largas cadenas de átomos principalmente de carbono (Ministerio de Educación, 2016). Se obtienen mediante reacciones de polimerización a base de derivados de petróleo (CAIRPLAS, 2020).

La palabra “plástico” proviene del griego “plastikos” que significa que se puede moldear (CAIRPLAS, 2020; PlasticsEurope, 2018). Esta es la característica principal por la cual nos encontramos en la era del plástico. Es un material en la cual se puede fundir, prensar o extrusionar, para obtener diferentes formas como botellas, tubos, fibras, cajas, etc., siendo en la actualidad uno de los materiales más versátiles (PlasticsEurope, 2018). Los plásticos han solucionado mucha de las necesidades de la sociedad, pero el crecimiento de las ciudades y población, han aumentado notablemente la cantidad de residuos generados y la demanda de materias primas (CAIRPLAS, 2020).

##### 2.1.1 TIPOS DE PLÁSTICO

Existen diferentes formas de clasificar el tipo de plástico, de acuerdo a su:

###### 2.1.1.1 Reacción al calor

**Termoplástico:** son plásticos fácilmente reciclables ya que se pueden fundir cuando se calientan y por tanto se pueden moldear repetidas veces sin que sus propiedades originales se alteren demasiado. Los termoplásticos más conocidos son: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), poliestireno expandido (EPS) y policarbonato (PC) (CAIRPLAS, 2020).

**Termoestable:** son difíciles de reciclar ya que están formados por polímeros con cadenas ligadas químicamente que hacen necesaria la destrucción de su estructura

molecular para poder fundirlos y esto conlleva a una alteración grande de sus propiedades originales. Por ejemplo: resinas fenólicas, resinas ureicas, etc. (CAIRPLAS, 2020).

### 2.1.1.2 Código de identificación de la resina

Es el más reconocido y el más utilizado en el sector industrial para diferenciar la composición de las resinas en los productos plásticos de uso diario. Son siete números que se encuentran en los diferentes tipos de plásticos y que marcan su nivel de toxicidad: 1 y 7, su reciclado debe usarse con precaución; 2, 4 y 5, material seguro; 3 y 6, material dañino (Fundación Aquae, 2020).

- 1) PET (tereftalato de polietileno)
- 2) PEAD o HDPE (polietileno de alta densidad)
- 3) PVC (policloruro de vinilo)
- 4) PEBD o LDPE (polietileno de baja densidad)
- 5) PP (polipropileno)
- 6) PS (poliestireno)
- 7) Otros tipos de plásticos

**PET:** muy barato de reciclar y totalmente reciclable. Es el plástico favorito para utilizar en botellas de agua y refrescos, debido que tiene un alto nivel de transparencia e impide la entrada de oxígeno. Gracias a los procesos de reciclaje puede generar un plástico de igual o mejor calidad (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020)

**PEAD o HDPE:** es uno de plásticos más usados en la vida cotidiana. Es poco opaco y soporta altas temperaturas, por lo que es muy resistente. Se usa para recipientes de productos de limpieza, botes de cremas o de leche. Es un tipo de plástico muy maleable y versátil. Tras su reciclado puede ser reutilizado para todo tipo de elementos como contenedores de reciclaje, otras botellas y envases de comida, macetas, entre otros (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020).

**PVC:** muy difícil de reciclar. Está considerado como el plástico más peligroso que existe, debido a su proceso de fabricación. Es muy ligero, resistente y duradero, con alta tolerancia al fuego y de permeabilidad alta. Se utiliza mucho en la

construcción, productos médicos, calzados. Solo puede ser reciclado de manera industrial. Sus efectos son muy contaminantes (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020).

**LDPE o PEBD:** muy elástico, duro y transparente. Se produce a través del gas natural y es muy barato, por eso su uso es amplio frente a otros tipos de plásticos. Se utiliza, por ejemplo, para las bolsas de plástico, aislantes de cables, papel film, etc. Una vez reciclado, se puede volver a usar para crear los mismos productos (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020).

**PP:** resistente al calor, pero no es flexible. Se encuentra en tapas de envases, envoltorios, utensilios de cocina, recipientes y se los puede someter a procesos de reciclado (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020).

**PS:** es resistente y un excelente aislante, frecuentemente usado en la construcción y en productos como duchas, espuma aislante, tubos de ensayo. Su reciclaje es costoso dado que debe transformarse a través del calor (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020).

**Otros plásticos:** sus componentes no se conocen del todo, por lo que no pueden reciclarse y eso hace de ellos un tipo de plástico muy contaminante. También se incluyen en esta categoría algunos tipos de plásticos de composición mixta. Se usan para los discos compactos, recipientes de embutidos, envases de pasta dentífrica, platos para cocinar en el microondas (Fundación Aquae, 2020; Juste, 2020).

## 2.1.2 PLÁSTICOS MÁS COMUNES

Los plásticos más comunes son los siguientes:

**Polietileno:** es el polímero más popular, ya que más de un tercio de todos los plásticos que se producen y venden en el mundo pertenecen a esta familia (Estévez, 2013; Greelane, 2019). Son resistente, flexibles, a prueba de humedad y fáciles de procesar (Estévez, 2013), los productos que se encuentran son bolsas, botellas, juguetes, tubos, etc. Los plásticos que contienen polietileno son:

- PET

- PEBD o LDPE
- PEAD o HDPE

**Polipropileno:** este plástico puede soportar temperaturas más altas que los polietilenos (Greelane, 2019), lo que permite fabricar envases reutilizables en los que guardar restos de comida, así como recipientes llenos de sustancias calientes, de igual forma se fabrican pañales desechables y camisetas térmicas (Estévez, 2013).

**Cloruro de polivinilo:** es uno de los plásticos más versátiles ya que puede adoptar una variedad de formas sea rígido o flexible, resistente al fuego de igual forma al aceite y productos químicos, es duradero y puede soportar factores ambientales agresivos (Estévez, 2013; Greelane, 2019). El vinilo se usa como revestimiento de cables, bolsas de sangre, mangueras de jardín, tapicerías, empalme de tuberías, etc. (Estévez, 2013; Greelane, 2019).

### 2.1.3 LA CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS

A lo largo de las últimas décadas, debido al crecimiento poblacional, la cantidad de residuos generados también han aumentado. La producción mundial de plástico ha aumentado drásticamente durante el último medio siglo y de 1,5 millones de toneladas en 1950 a 360 millones de toneladas producidas en el 2018 (Statista, 2020). Se ha sugerido que, de la producción anual de plásticos, aproximadamente 9,5 millones de toneladas terminan ingresando en los océanos (Wang et al., 2019). Lamentablemente por la pandemia, se ha incrementado significativamente el consumo de plásticos, especialmente en los hospitales y domicilios (Eljarrat, 2020). Cerca del 75% del plástico generado por la pandemia de COVID-19 como mascarillas, guantes y botellas de desinfectante para manos se convertirá en desechos que llegarán a vertederos y mares, con un grave costo para el ambiente y la economía (Noticias ONU, 2020).

En los últimos años, la preocupación por este problema ha aumentado y se estima que los residuos plásticos pueden persistir en el ambiente durante cientos o incluso miles de años (Crawford & Quin, 2016; Gewert et al., 2015). Se ha comprobado que

la contaminación por plásticos no solo plantea problemas para la biodiversidad marina, sino que también puede amenazar la salud humana (Bizarro, 2017).

## **2.2 MICROPLÁSTICOS**

Los microplásticos son pequeños polímeros orgánicos sintéticos, con un rango de tamaño que va desde 1  $\mu\text{m}$  hasta los 5 mm (FAO, 2017; García, 2019; Sarria & Gallo, 2016). Debido a su peso ligero y su reducido tamaño pueden ser transportados fácilmente por el viento o la precipitación, invadiendo ecosistemas acuáticos y terrestres (Andrady, 2011).

Cuando se habla de microplásticos se hace referencia a toda la gama de plásticos que existen en el mundo, que ya sea por fabricación intencional o degradación de materiales más grandes, los cuales están causando efectos nocivos al planeta (FAO, 2017).

### **2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS**

En un inicio, los microplásticos se originaron en largos periodos de tiempo, por procesos físicos, químicos o biológicos, que fragmentaron el macroplástico hasta reducirlo a microplástico (Cole *et al.*, 2011).

En la actualidad, estos microcontaminantes también son manufacturados con diversos fines industriales (Sarria & Gallo, 2016). La FAO (2017), menciona que desde 1950 la producción y uso de estos micropolímeros ha crecido exponencialmente, incrementando el problema de los plásticos en la biota.

Para definir la fuente de origen de los microplásticos se los ha clasificado en 2 categorías:

- Microplásticos primarios
- Microplásticos secundarios

### **2.2.1.1 Microplásticos Primarios**

Son plásticos creados intencionalmente con tamaños menores a 5 mm. Calderon, Martínez, & Muñoz (2020) y Sarria & Gallo (2016), indican, que estos microplásticos se crean industrialmente como aditivos para el cuidado personal (pastas dentales, cremas exfoliantes, geles de baño, etc.) o como gránulos de resina (materia prima para la producción de plásticos).

### **2.2.1.2 Microplásticos Secundarios**

Este tipo de microcontaminantes se genera por el fraccionamiento o degradación de los productos plásticos originales, en donde factores físicos, químicos y biológicos como: temperatura, radiación ultravioleta, abrasión física, oxidación, presión, y biodegradación natural, actúan como principales fragmentadores de estos polímeros (FAO, 2017; Fu, *et al* 2020; Ma, *et al* 2019).

## **2.2.2 MICROPLÁSTICOS EN LA BIOTA**

Los microplásticos al ser fabricados directamente o al ser producto de lentos procesos de degradación, están originando impactos negativos al ambiente, en especial a ecosistemas acuáticos (Greenpeace España, 2017).

Los microplásticos primarios, por ejemplo, al ser componentes de los productos de cuidado personal, como pastas dentales, exfoliantes, detergentes, entre otros, son descargados directamente en las aguas residuales, que al llegar a las plantas de tratamiento, no logran ser removidos por los filtros de las depuradoras (Greenpeace España, 2017; Sarria & Gallo, 2016), contaminando los cuerpos de agua.

Los microplásticos secundarios por otro lado, al ser producto de fragmentación, llegan a los ecosistemas, por el accionar del viento y la precipitación (Andrady, 2011), factores físicos que contribuyen a la mezcla de estas micropartículas en el agua (Sarria & Gallo, 2016).

### **2.2.2.1 Efectos de los microplásticos en los ecosistemas acuáticos**

Presentes en los cuerpos de agua, los microplásticos se encuentran disponibles para la ingesta en todos los niveles tróficos (Andrady, 2011; Germanov *et al.*, 2019).

Esta ingesta puede ser catalogada como directa e indirecta, la primera se produce cuando un individuo de un nivel trófico inferior ingiere accidentalmente estos polímeros, producto de la confusión con su alimento habitual, es decir consumen directamente el microplástico presente en el medio acuático. La forma indirecta se da en los organismos de los niveles tróficos superiores debido a la depredación, pues ingieren involuntariamente los microplásticos que se encuentran en el tracto digestivo y branquias de sus presas (Lino & Gaibor, 2019).

La FAO (2017), en un estudio con especies acuáticas sometidas a una exposición crónica de microplásticos, evidenció que la ingesta de estas micropartículas afecta negativamente la fecundidad, desarrollo y supervivencia de los individuos. Sarria & Gallo (2016), por otro lado, mencionan que la ingesta de microplásticos puede provocar una falsa sensación de llenura o la obstrucción del tracto digestivo, que ocasiona inanición o muerte.

Andrady (2011), O'Donovan *et al.*, (2018) y Pittura *et al.*, (2018), enfatizan que los microplásticos pueden adsorber contaminantes orgánicos persistentes o contener productos químicos tóxicos en su estructura, lo que los convierte en un potencial riesgo para la salud humana y el ambiente, ya que pueden bioacumularse en los tejidos de los organismos y ocasionar la muerte.

#### **2.2.2.2 Efectos de los microplásticos en la salud**

Actualmente, existen pocas evidencias que muestran impactos de los microplásticos sobre la salud humana, pero son un tema prioritario en los centros de investigación, de alto interés y debate (Delgado, 2019; Sarria & Gallo, 2016).

Por lo general estas micropartículas pueden ingresar al ser humano por ingesta, inhalación o contacto dérmico, y en su mayoría, sobre un 90%, logran ser excretados (Arriaza *et al.*, 2019; Delgado, 2019).

Algunos autores mencionan, que los microplásticos podrían acumularse en el organismo y causar efectos negativos en la salud (Arriaza *et al.*, 2019). Debido a que contienen compuestos tóxicos como el Bisfenol A, estirenos, etc., (de un alto potencial cancerígeno) (Bruschweiler *et al.*, 2012), o aditivos tales como los ftalatos,

que pueden causar fallos al sistema endócrino, problemas respiratorios, afecciones en el desarrollo y alteraciones en la salud reproductiva (Delgado, 2019).

## 2.3 LEGISLACIÓN ECUATORIANA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La Ley Orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso ya se encuentra en el Registro Oficial No 354. La Asamblea Nacional lo aprobó el 15 de diciembre, y fue publicada el 21 de diciembre de 2020 (Alarcón, 2020).

La Ley Orgánica establece una reducción progresiva de plástico de un solo uso en diferentes lapsos de tiempo para la transición, como se muestra en la Figura 1:

SE PROHÍBE EN		
12 meses	24 meses	36 meses
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsas y envases en Parques Nacionales y Áreas protegidas</li> <li>• Para la entrega de publicidad impresa, diarios, revistas, estados de cuenta, etc.</li> <li>• Fabricación e importación de sorbetes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsas de acarreo que no contengan un % mínimo de material reciclado post consumo</li> <li>• Bolsas y artículos que incluyen aditivos para fragmentación en microplástico</li> <li>• Recipientes, envases y vasos de PS que no contengan % mínimo de material reciclado post consumo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bolsas y envoltorios que no contengan un % mínimo de material reciclado post consumo</li> <li>• Platos, vasos, utensillos y vajillas que no contengan un % mínimo de material reciclado post consumo</li> </ul>
Durante los periodos de transición		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se prohíbe la entrega gratuita de bolsas, recipientes, vajillas, utensillos y otros plásticos</li> <li>• Los establecimientos o comercios tienen la obligación de consultar si los clientes desean recibir o no plásticos de un solo uso</li> </ul>		

**Figura 1.** Reducción del plástico de un solo uso por lapsos de tiempo

**Fuente:** Ley de plásticos de un solo uso (2020)

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

## Componente mínimo de plástico reciclado

La norma establece que, para cumplir con el componente mínimo de plástico reciclado, se debe cumplir con los plazos de moratoria presentados en la Tabla 1:

**Tabla 1:** Porcentajes de plástico reciclado post consumo

Plásticos \ Tiempo establecido	18 meses	36 meses	48 meses
	<b>% de plástico reciclado que debe contener</b>		
<b>Fundas plásticas de acarreo</b>	50	55	60
<b>Recipientes de EPS</b>	8	12	18
<b>Vasos/Tarrinas</b>	10	25	30
<b>Cubiertos</b>	10	25	30
<b>Botellas PET</b>	5	15	30

**Fuente:** Ley de plásticos de un solo uso (2020)

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

## 2.4 GENERALIDADES DE LA ESPECIE *Oncorhynchus mykiss*

### 2.4.1 BIOLOGÍA

*Oncorhynchus mykiss* o trucha arcoíris, mostrada en la Figura 2, es un pez perteneciente a la familia de los salmónidos, que se caracteriza por su resistencia y tolerancia a ambientes cambiantes, que facilitan su adaptación al cultivo en cautiverio (JACUMAR, 2018).

Por lo general son peces de un color azul o verde oliva, vientre blanco, con una franja rosácea a cada lado de su cuerpo y puntos negros en todo su dorso (National Geographic, 2010). Pueden alcanzar tamaños que van desde los 20 a los 40 cm, con un peso máximo de 500 g (JACUMAR, 2018).



**Figura 2.** *Oncorhynchus mykiss*

**Fuente:** Instituto Nacional de Pesca

### **2.4.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA**

La trucha arcoíris es originaria de América del Norte, fue introducida, en los años 60, a todos los continentes salvo en la Antártida.

En la actualidad se la encuentra distribuida en diversos lugares del mundo, debido a que su adaptación ha facilitado su crianza en piscinas comerciales (acuicultura) y su desarrollo para la pesca deportiva (JACUMAR, 2018).

### **2.4.3 ASPECTOS COMERCIALES**

En el Ecuador, el cultivo de la trucha arcoíris ha ido en aumento, principalmente en la región Sierra, donde según el estudio de Echeverría (2012), existen 213 criaderos, ubicados en las provincias de Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Sucumbíos, y Tungurahua, con una producción total de 982.3 t/año, de carne de trucha.

Esta proteína es comercializada en el mercado con precios que van desde USD 5.00/kg (Marquez, 2019); su producción toma entre 5 meses a 1 año. Dependiendo de las condiciones climatológicas del sitio.

Es importante controlar parámetros como pH, temperatura y oxígeno disuelto, que permitan conocer el estado de calidad del agua, para así brindarles a los peces, las condiciones óptimas que promulguen el crecimiento de los peces desde alevines , hasta su etapa adulta (FAO, 2014).

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

##### 3.1.1 UBICACIÓN

La fase experimental de la investigación se llevó a cabo en el criadero de truchas “Rincón Torcasa”, ubicado en la comunidad de Cariacu, parroquia Ayora, cantón Cayambe de la provincia de Pichincha. La Figura 3, muestra el sitio en donde se realizaron los bioensayos. La propietaria del lugar es la señora Hilda Churuchumbi, quien se encarga de la parte administrativa y operativa del criadero acuícola. En el lugar se ofrecen tanto la venta carne de trucha por kilos como la pesca deportiva.



**Figura 3.**Ubicación criadero “Rincón Torcasa”  
Fuente: Google Earth, 2021

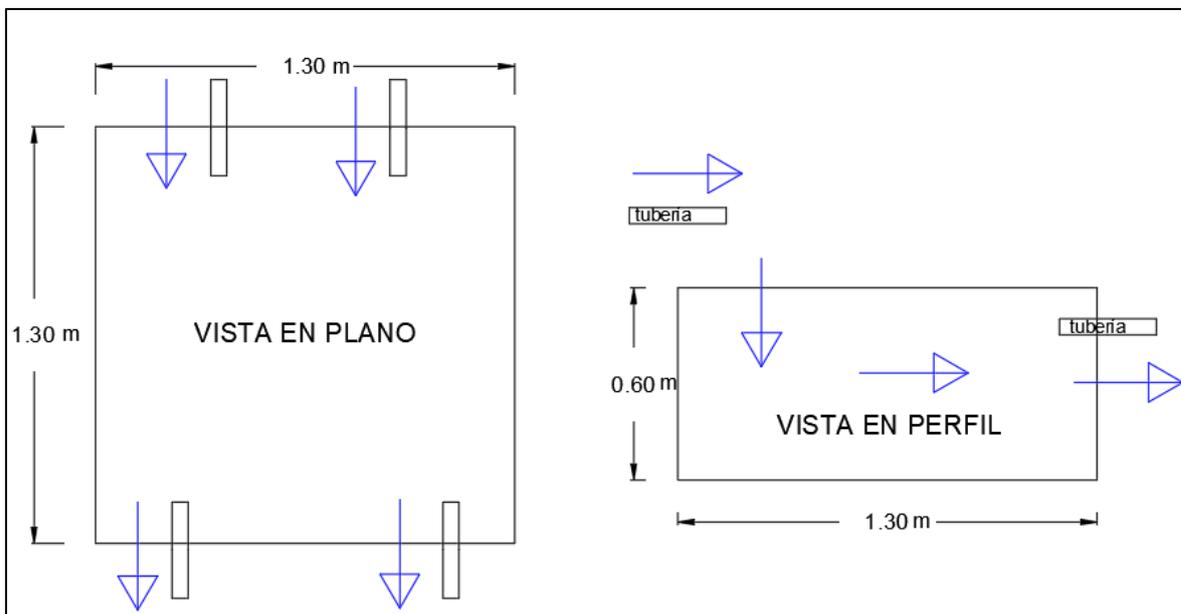
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

### 3.1.2 CONSTRUCCIÓN DE PISCINAS PARA LOS BIOENSAYOS

La Figura 4, muestra inicialmente la remoción de la vegetación del área asignada para la experimentación, posteriormente sobre la superficie limpia se trazó los límites para la construcción de cada piscina; las dimensiones fueron de 1.3 x 1.3 m<sup>2</sup> con una profundidad de 0.6 m, como se muestran en la Figura 5.



**Figura 4.** Limpieza del terreno y excavación de pozos  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)



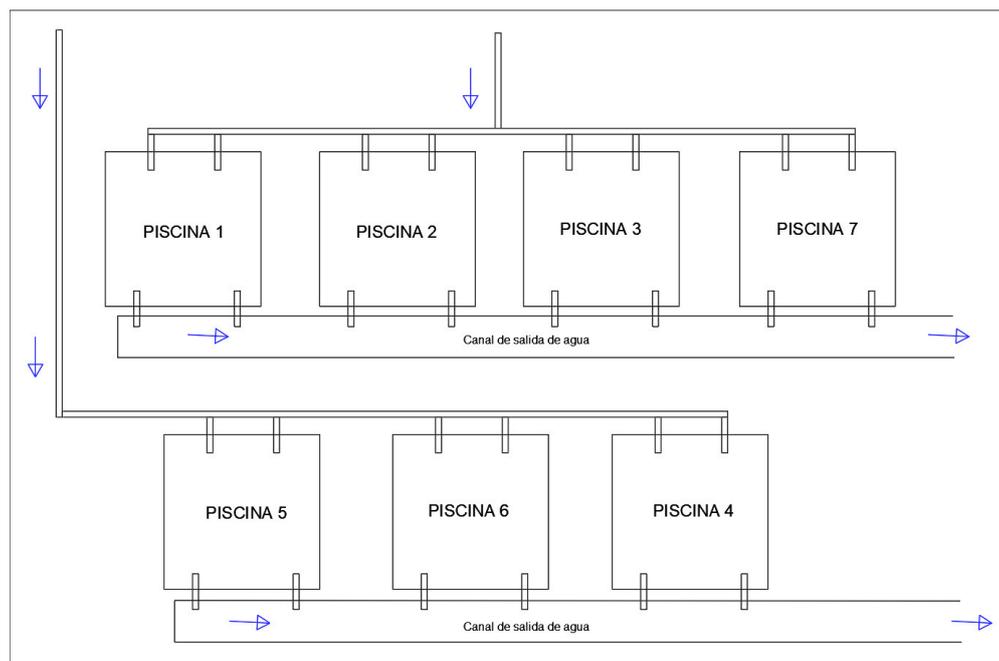
**Figura 5.** Dimensiones piscinas de ensayo  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Construidos los pozos o piscinas, se realizó la instalación de la tubería PVC, para facilitar la entrada y salida del agua. El abastecimiento hídrico para toda la experimentación fue desde una vertiente de origen natural, proveniente del río Cariacu. Seguidamente, se colocaron todos los accesorios y tubería, para permitir

el flujo continuo como se observa en la Figura 6. Finalmente, sobre el área superficial de cada piscina se colocó malla plástica con una altura de 0.4 m y abertura 0.01 m, en los bordes de cada piscina, para evitar que las truchas salgan de los pozos. La Figura 7, muestra el diseño final de las piscinas con vista en planta.



**Figura 6.** Instalación de tubería PVC  
Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 7.** Vista en planta de las piscinas para el ensayo  
Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

### 3.1.3 DISTRIBUCIÓN DE LAS PISCINAS SEGÚN LA CONCENTRACIÓN DE MP USADO PARA EL BIOENSAYO

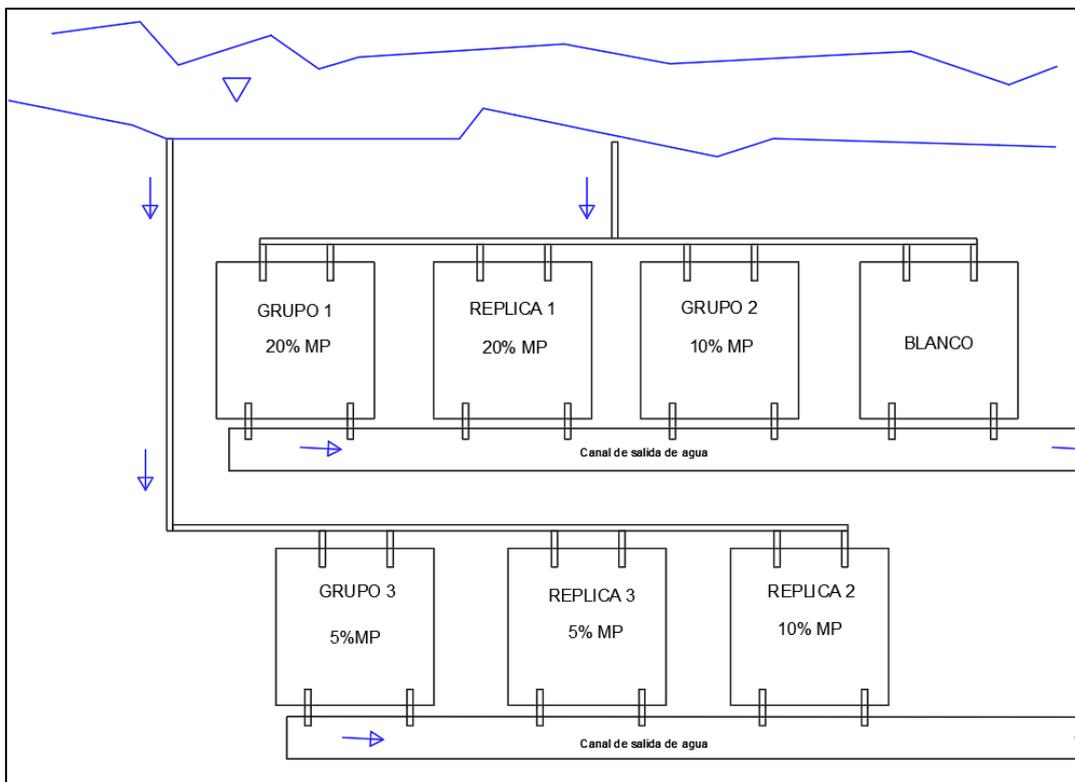
Se distribuyeron las piscinas según la concentración de MP usado en el bioensayo tal y como se muestra en la Figura 8; es decir grupo 1: piscina 1 y 2, y 20% MP, grupo 2: piscina 3 y 4, y 10% MP, grupo 3: piscina 5 y 6, y 5% MP y piscina 7 de

control. La Tabla 2: **Distribución de las piscinas según la concentración (%) de MP usado para el bioensayo** Tabla 2, presenta la distribución de las piscinas, y sus réplicas, según el porcentaje de MP usado para el bioensayo.

**Tabla 2:** Distribución de las piscinas según la concentración (%) de MP usado para el bioensayo

Grupo	Piscina		MP
#	#		%
1	1	Muestra	20
	2	Replica	20
2	3	Muestra	10
	4	Replica	10
3	5	Muestra	5
	6	Replica	5
Control	7	Blanco	0

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)



**Figura 8:** Vista en planta de la distribución por concentración de MP en las piscinas usadas para el bioensayo

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

### 3.1.4 PREPARACIÓN DE LA DIETA PARA ALIMENTAR A LOS PECES

#### 3.1.4.1 Obtención de microplástico

El plástico utilizado en los bioensayos fue obtenido en la empresa MIL POLÍMEROS, ubicada en la Panamericana Norte, km 10, sector Samanga, entrada a Puerto Arturo, provincia de Tungurahua. La Figura 9, presenta la localización de la empresa MILL POLÍMEROS.



**Figura 9.** Ubicación fabrica “MILL POLÍMEROS”  
Fuente: Google Earth, 2021

La empresa se dedica a la producción de compuestos de PVC flexibles y rígidos en tamaños de 2 mm a 5 mm. Los pellets utilizados se muestran en la Figura 10 y sirven como materia prima para la elaboración de calzado, cables, artículos de construcción y productos atóxicos.



**Figura 10.** Tipos y colores de polímeros de PVC  
Fuente: Catálogo MILL POLÍMEROS

El microplástico seleccionado para la experimentación, estuvo conformado por partículas de PVC de 3 mm, flexible para inyección de suelas con alta resistencia y estabilidad térmica, color beige.

### 3.1.4.2 Elaboración de los pellets para la dieta alimenticia de los peces

Se elaboraron 3 diferentes tipos de dietas para alimentar a los peces durante la experimentación, mezclando pienso (comúnmente conocido como balanceado para peces) y microplástico, en diferentes proporciones.

El grupo de control fue alimentado con piensos, y los 3 grupos de prueba, con sus réplicas respectivas, fueron alimentados con las dietas elaboradas (pienso+MP), al 5%, tamaño de partícula 1.5 mm, 10%, tamaño de partícula 3 mm y 20%, tamaño de partícula 1.5 y 3 mm de MP. Se tomó como referencia el uso del 10% de microplásticos de estudios previos realizados por Solomando *et al.*, (2020) y Rochman *et al.*, (2014).

El pienso o balanceado utilizado durante la experimentación fue engorde, para trucha, marca PISCIS S-400, con un tamaño aproximado por pellet de 6 mm. La composición nutricional de los piensos se muestra en la Tabla 3:

**Tabla 3.** Información nutricional Balanceado Piscis S-400

Componentes	%
Proteína cruda	40
Grasa	13
Humedad	12
Cenizas	12
Fibra	3

**Fuente:** Ordoñez, 2013

**Elaboración:** Caiza & Criollo (2021)

Una vez fijadas las concentraciones de microplástico y pienso, se acudió al Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), para pesar las cantidades de microplástico y balanceado, en una Balanza Analítica ME 204, con capacidad de 220 g y precisión de 0.1 mg. La , y la Tabla 5, presenta la concentración, peso y tamaño de MP que se usó en el bioensayo para los 3 grupo de prueba.

Tabla 4, muestra los pesos iniciales del microplástico y del pienso, y la Tabla 5, presenta la concentración, peso y tamaño de MP que se usó en el bioensayo para los 3 grupo de prueba.

**Tabla 4.** Peso de MP y del pienso.

	Peso
Pienso	0.16 ± 0.01g
Microplástico	0.021 ± 0.001g

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

**Tabla 5.** Concentración, peso y tamaño de pienso y MP utilizado para los distintos grupos de prueba.

Grupo	Concentración		Peso		Tamaño	
	Pienso	MP	Pienso	MP	Pienso	MP
#	%		g		mm	
Control	100	-	0.16	-	6	-
1	80	20	0.13	0.03		1.5 y 3
2	90	10	0.14	0.02		3
3	95	5	0.15	0.01		1.5

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Para combinar el balanceado con el MP, se procedió a hacer un agujero en los piensos, utilizando agujas, para así remover la cantidad exacta de alimento e introducir el MP necesario por concentración deseada, como se observa en la Figura 11.



**Figura 11.** Elaboración del pienso más microplástico

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

### 3.1.5 ORGANISMOS DE PRUEBA

Los organismos de prueba fueron suministrados del criadero de truchas “Rincón Torcasa”, 70 individuos en edad adulta, hembras, con pesos entre 185 a 205 g; los individuos fueron distribuidos en grupos de 10, en cada una de las 7 piscinas construidas.

El peso y longitud total, iniciales, de cada uno de los individuos, fueron registrados en las Tabla 6 y Tabla 7, respectivamente.

**Tabla 6.** Peso inicial de los organismos de prueba por piscina

# Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO DE CONTROL
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
	<b>g</b>						
1	184	189	201	201	207	207	186
2	194	198	203	195	189	192	201
3	185	184	191	198	188	191	197
4	201	180	187	191	207	203	193
5	196	185	182	185	201	205	203
6	189	192	185	205	200	196	180
7	205	200	194	197	207	182	203
8	205	187	192	190	192	181	194
9	202	196	200	207	201	187	187
10	194	194	203	190	200	207	193
<b>Promedio</b>	195,5	190,5	193,8	195,9	199,2	195,1	193,7
$\sigma$	7,37	6,23	7,30	6,71	6,87	9,52	7,28

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

**Tabla 7.** Longitud inicial de los organismos de prueba por piscina

# Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		Grupo de Control
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
	<b>cm</b>						
1	19,3	19,7	19,9	18,9	21,5	20	19,4
2	20	19,4	20,5	19,9	18,9	19	19,1
3	19,2	22	20	20	21	18,9	20
4	19,5	20	19,3	20,7	20	21,1	20,2
5	19,6	19,9	19,7	19,5	19	22	19,3
6	21,3	20,4	20	20	18,1	19,6	19,1
7	19,8	20	19,9	20	21	19,4	20

<b>8</b>	20	21	19,4	19,7	19,9	19,9	20,4
<b>9</b>	19,6	19,5	21,4	19,9	20,5	19,9	19,3
<b>10</b>	20,5	19,7	19	19,3	19,1	20,1	19
<b>Promedio</b>	19,88	20,16	19,91	19,79	19,9	19,99	19,58
<b><math>\sigma</math></b>	0,59	0,76	0,64	0,46	1,05	0,89	0,49

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

El experimento tuvo una duración de 6 semanas, 2 para aclimatación de los organismos, alimentados 2 veces por día, con piensos habituales. Las 4 semanas siguientes, los organismos fueron expuestos a alimento contaminado con MP.

### 3.2 BIOENSAYO DE TOXICIDAD CON MICROPLÁSTICOS

Según lo recomendado por Ašmonaite et al. (2018), los bioensayos fueron subagudos y de flujo continuo, con una duración de 28 días, y exposición a alimento, intencionalmente contaminado con MP al 20, 10 y 5 %, en 3 grupos de prueba y su respectivo duplicado, y un grupo de control o blanco, como se observa en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Concentración de microplástico con su respectiva piscina

<b>Grupo</b>	<b>Concentración MP (%)</b>	<b>Número de piscina</b>
1	20	1 – 2
2	10	3 – 4
3	5	5 – 6
Control		7

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

#### 3.2.1 ALIMENTACIÓN A LOS ORGANISMOS

La alimentación fue establecida de acuerdo a las recomendaciones del Manual Práctico para el cultivo de Truchas arco iris elaborada por la FAO (2014), en donde se considera el peso y la longitud del organismo, según los datos registrados en el experimento cada individuo debía consumir 1,9 g/día de alimento dividido en dos partes, como cada pienso pesa  $0,16 \pm 0,01$ g. Por lo que aproximadamente cada trucha debió ingerir 12 piensos/día a las 8h00 y 17h00, respectivamente.

Los organismos de prueba fueron alimentados con piensos contaminados artificialmente con microplástico a diferentes concentraciones. La los grupos, concentraciones de MP, la cantidad total de microplástico administrada vía oral, durante el periodo de exposición subcrónica de 28 días. muestra, los grupos, concentraciones de MP, la cantidad total de microplástico administrada vía oral, durante el periodo de exposición subcrónica de 28 días.

**Tabla 9.** Concentración de MP y balanceado para las distintas piscinas

Grupo	Alimento	Concentración (%)	Peso (g)	Consumo total durante los 28 días (g)
1	Balanceado	80	0,13	430,08
	MP	20	0,03	107,52
2	Balanceado	90	0,14	483,84
	MP	10	0,02	53,76
3	Balanceado	95	0,15	510,72
	MP	5	0,01	26,88

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

### 3.2.2 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para tener un cultivo de truchas exitoso, un aspecto importante es la calidad agua, pues esta debe tener las siguientes condiciones (Tabla 10):

**Tabla 10.** Calidad del agua

Parámetro	Rango	Óptimo
Temperatura (° C)	13 a 18	15
Oxígeno (mg/l)	7,5 a 12	8,5
Conductividad (µS/cm)	>200	>200

Fuente: FAO, 2014

Los parámetros de control fueron medidos por un equipo multiparámetro, marca HACH HQ30d-flexi, tres veces al día, durante las dos semanas de aclimatación

hasta el final de la fase experimental. La sonda fue sumergida en la columna de agua, siempre a la misma profundidad (25 cm), según las recomendaciones del Manual de técnicas analíticas elaborado por INVEMAR, (2003).

El agua con la que se trabajó durante el ensayo tuvo la misma calidad de las piscinas que se encuentran en funcionamiento en el criadero.

### 3.2.3 DISECCIÓN DE LOS ORGANISMOS

Una vez finalizada la fase experimental, se procedió a la recolección de los peces, para realizar una caracterización morfométrica.

- Longitud total (cm)
- Ancho del cuerpo (cm)
- Peso del individuo (g)

Como lo muestra la Tabla 11 Tabla 12 Tabla 13 y Figura 12. Para obtener estas dimensiones se usó una hoja milimetrada y una balanza digital de marca TRUPER.

**Tabla 11.** Longitud final de los organismos de prueba por piscina

Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO DE CONTROL
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
Cm							
1	26,5	26,8	27,7	27,5	26,8	25,9	27,8
2	26	28,4	26	27,7	25,3	26,5	27,8
3	26	27,4	26,3	26,7	25,7	26,3	26,4
4	26,1	26	25,6	25,7	23,9	29	24,3
5	27,5	26,5	26,5	26,8	26,3	26,9	26,1
6	26,5	26,3	27,6	25,5	27,1	28	25
7	28,7	26,4	26,4	26,3	27,1	27	27
8	26	25,9	26,3	26,2	25,5	26,7	28
9	27	25,3	26,8	26,3	26,3	27,2	28,5
10	26,3	26,8	25,7	25,1	24,8	24,08	25,6
<b>Promedio</b>	26,66	26,58	26,49	26,38	25,88	26,76	26,65
$\sigma$	0,82	0,81	0,67	0,79	0,99	1,23	1,33

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

**Tabla 12.** Ancho final de los organismos de prueba por piscina

Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	

	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	GRUPO DE CONTROL
	Cm						
1	5,08	7,60	6,50	6,70	6,80	6,70	6,90
2	6,40	6,20	6,00	6,40	6,40	6,70	6,90
3	6,80	7,10	6,20	6,50	6,30	6,80	7,60
4	6,60	6,20	6,40	5,70	5,70	7,40	6,30
5	7,20	6,60	6,50	6,60	6,80	7,00	6,40
6	6,80	7,10	5,60	6,80	7,00	7,10	6,80
7	7,30	6,30	6,40	7,00	6,50	6,50	6,50
8	6,90	7,00	7,70	6,60	6,10	6,50	7,40
9	6,90	6,40	6,80	6,80	6,30	7,40	6,70
10	6,60	6,40	6,00	6,30	5,20	5,80	6,90
<b>Promedio</b>	6,66	6,69	6,41	6,54	6,31	6,79	6,84
<b>Σ</b>	0,59	0,45	0,54	0,34	0,51	0,45	0,39

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

**Tabla 13.** Peso final de los organismos de prueba por piscina

Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO DE CONTROL
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
	g	g	g	g	g	g	
1	189,94	246,07	236,97	252,03	256,00	244,09	278,96
2	233,88	221,13	231,90	248,06	223,11	238,99	271,87
3	240,97	259,11	216,87	235,02	216,87	259,96	261,10
4	248,06	223,11	223,96	199,01	182,00	274,14	206,95
5	261,10	216,87	246,92	261,10	256,00	235,02	233,03
6	219,14	242,67	240,97	231,62	299,94	278,96	208,94
7	267,90	242,96	248,06	244,09	248,91	233,03	229,91
8	240,97	229,06	214,89	233,88	238,99	229,06	286,05
9	244,94	216,02	242,10	227,93	225,10	282,08	269,89
10	219,99	244,94	204,97	218,01	178,03	170,95	250,89
<b>Promedio</b>	236,69	234,20	230,76	235,07	232,49	244,63	249,76
<b>Σ</b>	21,41	14,06	14,10	16,94	34,45	31,01	27,14

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 12.** Caracterización morfométrica de la trucha arco iris  
Fuente Caiza & Criollo (2021)

Posteriormente, la disección de los organismo fue realizado según el protocolo de Ory (2016), que recomienda un corte longitudinal desde el ano hasta la boca como se muestra en la Figura 13, para así extraer el tracto digestivo, el mismo que se pesó en una balanza digital de marca TRUPER. Los datos registrados del peso del tracto digestivo se encuentran en la Tabla 14. Finalizado el pesaje, los tractos digestivos fueron colocados en envases de vidrio de 120 ml, previamente etiquetados con el código de la piscina y número de individuo.

**Tabla 14.** Peso del tracto digestivo de los organismos de prueba por piscina

Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO DE CONTROL
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
	<b>g</b>						
1	19,03	32,89	30,90	28,92	26,08	28,07	32,03
2	26,08	15,04	34,87	26,93	17,86	24,95	30,90
3	24,95	32,89	32,03	26,93	22,11	30,05	28,92
4	32,03	24,10	28,92	22,11	17,01	28,92	17,01
5	35,15	17,01	30,90	28,92	28,07	24,10	20,98
6	28,08	34,30	26,08	32,03	39,12	36,57	18,99
7	26,93	30,05	26,08	28,07	26,08	24,10	22,11
8	30,92	20,98	22,11	24,95	28,07	30,05	28,07
9	22,96	28,92	26,08	26,08	26,08	32,89	22,96
10	17,01	30,05	20,13	22,96	18,99	13,89	26,93
<b>Promedio</b>	26,31	26,62	27,81	26,79	24,95	27,36	24,89
$\sigma$	5,37	6,57	4,34	2,80	6,17	5,84	4,91

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 13.** Disección de la trucha arco iris  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

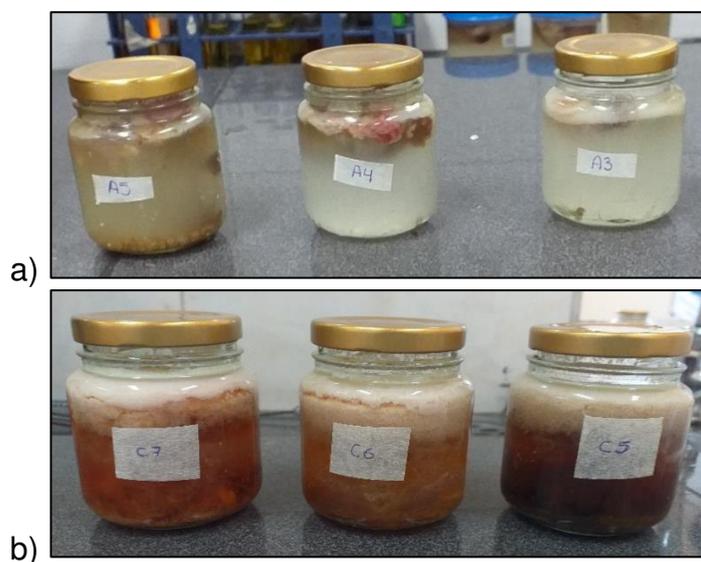
### 3.2.4 DIGESTIÓN DEL TEJIDO INTESTINAL

Para desintegrar el tejido intestinal, se siguió las recomendaciones de Cole *et al.* (2014), utilizando 90 ml de NaOH al 10% (w/w), durante 3 semanas a temperatura ambiente. Las Figura 14Figura 15, muestran la preparación de la solución, y las muestras del tracto intestinal de las truchas, durante el proceso de digestión. Al final del proceso, las muestras fueran lavadas con agua corriente, para luego retirar los elementos que no correspondieron a microplásticos, utilizando pinzas previamente higienizadas. Finalmente, los microplásticos fueron pesados en una balanza digital marca Mettler Toledo con precisión 0,001g como muestra la

Figura 16. Los datos registrados se presentan en la Tabla 15.



**Figura 14.** Preparación de la solución de NaOH al 10% (w/w)  
Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 15.** Digestión de algunas muestras del tracto digestivo  
a) Digestión, día 1 b) Digestión, día 14

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 16.** Extracción y pesaje del microplástico  
Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

**Tabla 15.** Peso del MP del tracto digestivo del trucha por piscina

Individuos	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		GRUPO DE CONTROL
	piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
g							
1	0,73	3,34	8,04	3,58	0,09	0,63	0,00
2	3,92	0,37	4,96	0,57	0,19	0,26	0,00
3	2,11	2,10	5,97	1,67	0,13	1,54	0,00
4	0,86	1,35	0,99	0,25	0,21	0,20	0,00
5	6,57	0,78	2,70	2,81	0,66	1,02	0,00
6	0,58	6,51	0,19	4,77	1,72	6,41	0,00
7	3,05	2,08	3,87	5,39	0,25	0,25	0,00
8	5,04	1,92	0,66	3,18	2,16	0,17	0,00
9	2,34	3,59	1,12	2,97	5,01	0,20	0,00
10	0,26	4,33	0,16	4,43	0,16	0,13	0,00
<b>Promedio</b>	25,46	26,37	28,66	29,62	10,58	10,81	0,00
$\sigma$	2,00	1,75	2,60	1,63	1,49	1,83	0,00

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

### 3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

#### 3.3.1 RELACIÓN LONGITUD-PESO Y FACTOR DE CONDICIÓN DE FULTON K

Para conocer si existió algún grado de estrés en los individuos expuestos a alimentos contaminados con MP, y la posibilidad que se hayan generado alteraciones en su desarrollo, se aplicó el factor de condición de Fulton (Leyton et al., 2015).

$$K = 100 * \left( \frac{W}{L^3} \right)$$

Donde,

K = Condición de Fulton

W = Peso del individuo (g)

L = Longitud del individuo (cm)

Si,  $K < 1$ , indica que existe un grado de estrés

Si,  $K \geq 1$  se concluye que los peces están creciendo de manera óptima.

Con respecto a la relación longitud-peso de los organismos se realizó una regresión lineal utilizando la fórmula

$$W = aL^b$$

a = constante de regresión equivalente al factor de condición

b = coeficiente de crecimiento de la regresión

L= longitud

W= peso

### 3.3.2 ÍNDICE DE REPLECIÓN (IR)

El índice de repleción indica la condición de llenado del estómago, de los individuos, que se expresa con la siguiente fórmula:

$$IR = \frac{\text{Peso del contenido estomacal}(g) * 100}{\text{Peso del pez}(g)}$$

Para determinar el estado de llenado del estómago, se tomará en cuenta la escala propuesta por Albertini-Berhaut (1974).

Si,  $IR < 0.1$  estómago vacío

Si,  $0.10 < IR < 0.5$  estómago semivacío

Si,  $0.50 < IR < 1.0$  estómago semilleno

Si,  $IR > 1.0$  estómagos llenos.

### 3.3.3 ONE WAY ANOVA

Para analizar la existencia de diferencias o similitudes, en las medias de peso y longitud, registrados en los individuos de los grupos expuestos a MP, comparados con el grupo de control, se aplicó el método estadístico ANOVA de un factor (SAS Institute Inc., 2020). Los parámetros que se analizaron fueron:

- Peso inicial y final (g)
- Longitud inicial y final (cm)

- Factor de condición de Fulton K

Para realizar el análisis es importante conocer:

- **Significancia:** si  $p < 0,05$  las dos variables están relacionadas, es decir existen diferencias significativas entre los grupos (Cardenas, 2015).
- **Valor de F:** cuanto más alto sea F, mayor relación entre las variables (Cardenas, 2015).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CALIDAD DEL AGUA DURANTE EL PERIODO DE EXPERIMENTACIÓN

##### 4.1.1 CALIDAD DEL AGUA DE LAS PISCINAS

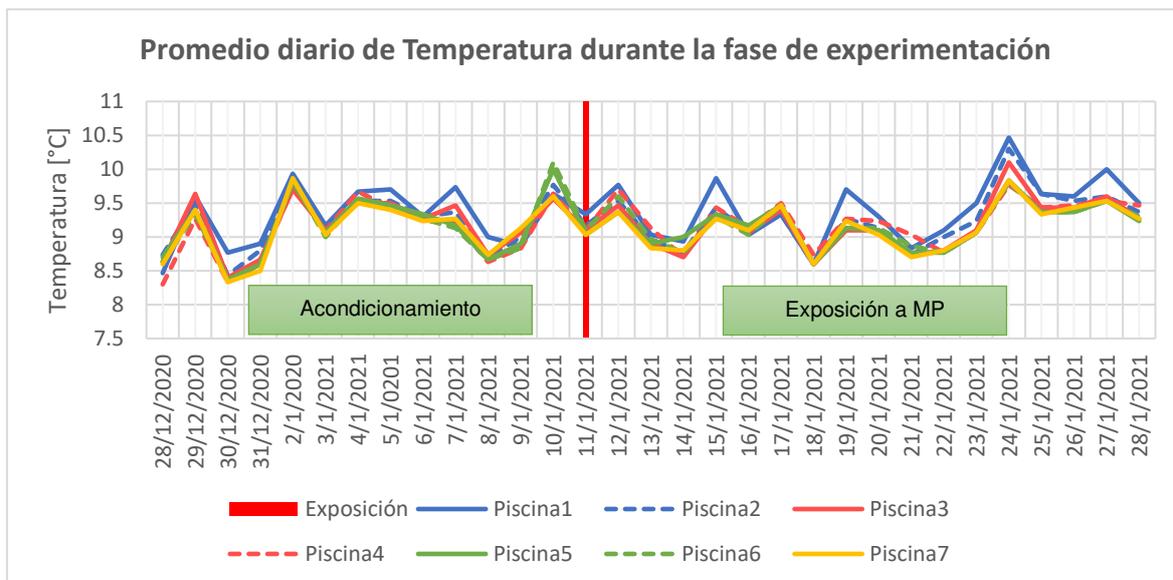
Durante toda la fase experimental, se monitoreo, diariamente, la calidad del agua utilizada en las piscinas. La Tabla 16, muestra los valores promedio registrados experimentalmente, de oxígeno, temperatura y conductividad y los rangos normales y óptimos, recomendados en bibliografía para esta especie piscícola.

**Tabla 16.** Rangos permisibles, óptimos y promedio de los parámetros de calidad del agua

Parámetro	Unidades	Rango normal	Óptimo	Promedio Registrado	Desviación estándar
Oxígeno disuelto	mg/l	7.5 a 12	8.5	8.70	0.22
Temperatura	° C	13 a 18	15	9.2	0.40
Conductividad	μS/cm	< 200	<200	87.94	13.7

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

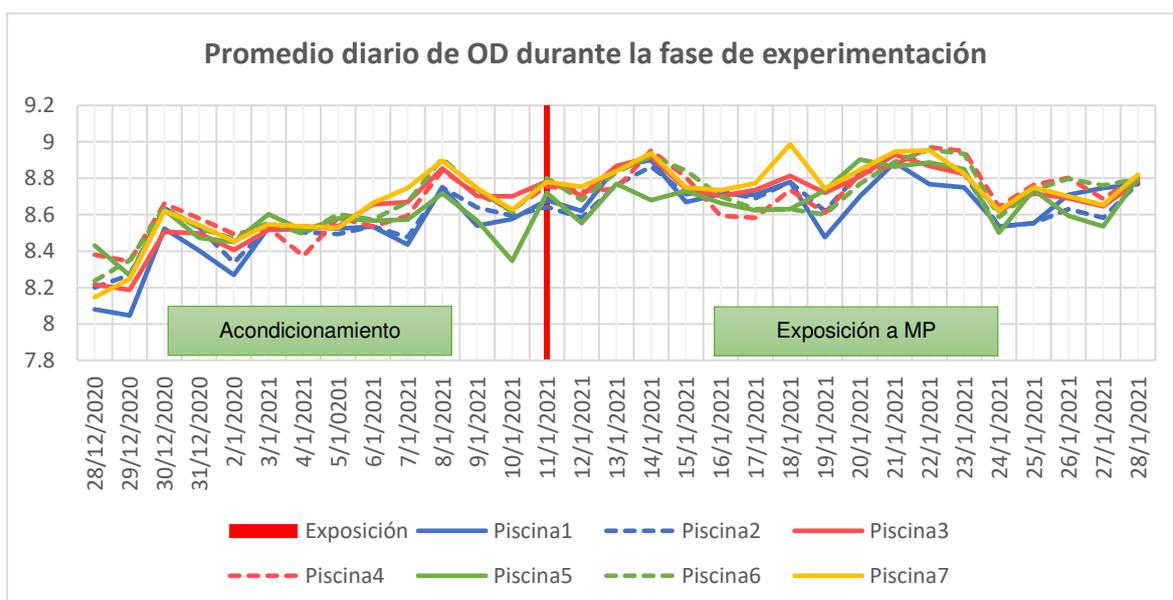
Debido a que los peces son organismos poiquiloterms, la temperatura es el principal parámetro por considerar para que las truchas tengan una vida saludable (FAO, 2014). La Figura 17, muestra que la temperatura se mantuvo entre un rango de 8.6 a 10.3 °C, con un promedio de 9.2°C, es decir, se encuentra un 39%, por debajo del valor óptimo. Se infiere que este parámetro pudo influir en un crecimiento lento de los individuos.



**Figura 17.** Promedio diario de temperatura de las piscinas durante la fase de experimentación.

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

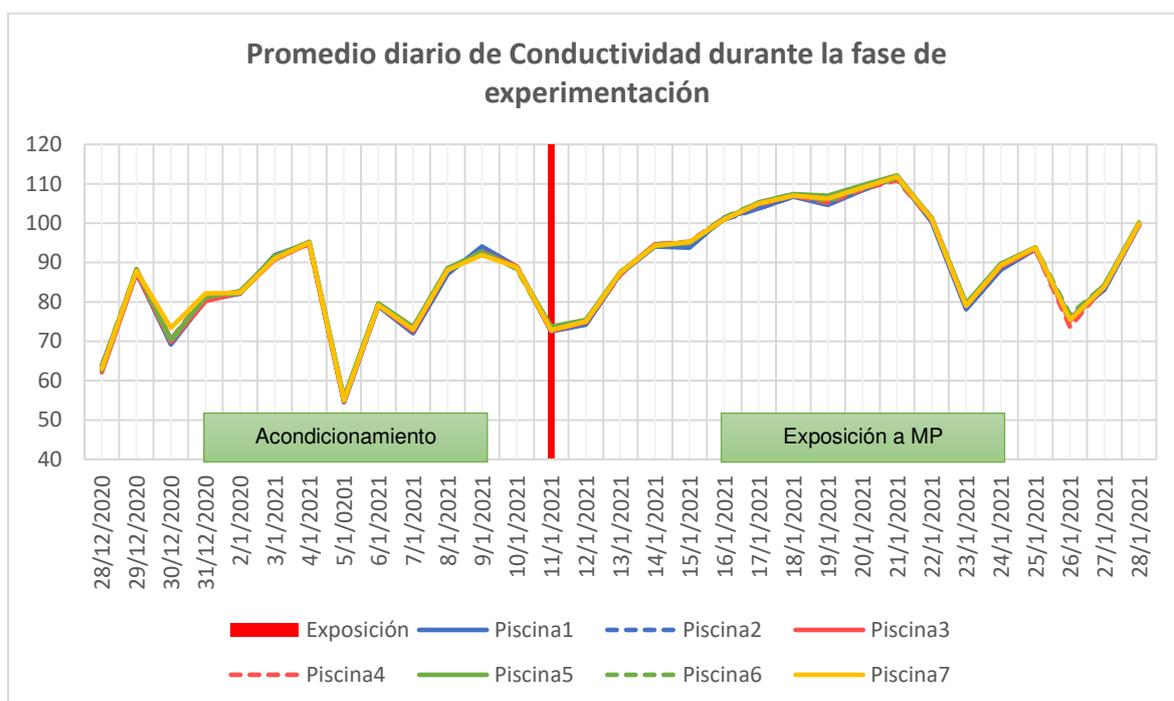
En la Figura 18, se observa que el oxígeno disuelto varía entre 8.05 y 8.99 mg/l, con un promedio de 8.7 mg/l, que se encuentra dentro de lo óptimo para un crecimiento estable de la trucha arco iris. Hannapro (2020), indica que si se tiene oxígeno disuelto inferior a 5 mg/L podría provocar que los peces gasten más energía en la búsqueda de oxígeno, causando estrés y progresivamente una muerte masiva (Hannapro, 2020).



**Figura 18.** Promedio diario del oxígeno disuelto en el agua de las piscinas durante la fase de experimentación.

**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

En la Figura 19, se observa que la conductividad se encuentra entre 55 a 111.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un promedio de 87.94  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor óptimo para que no exista una afectación en la vida acuática por exceso de salinidad. La conductividad depende de la concentración de los iones presentes como  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , así como la temperatura del agua (CORTOLIMA, 2015).



**Figura 19.** Promedio diario de la conductividad del agua de las piscinas durante la fase de experimentación

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

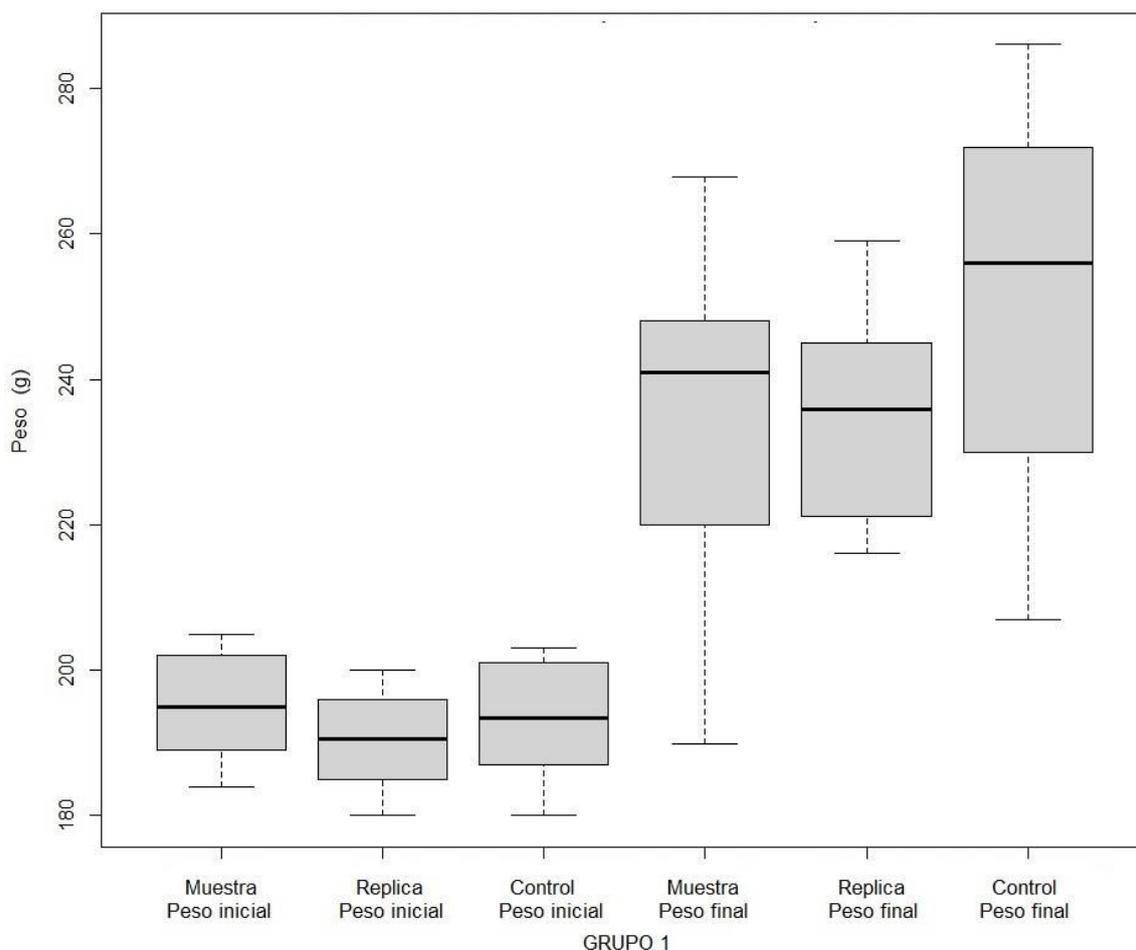
## 4.2 CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS A MP

### 4.2.1 CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS TRUCHAS TRAS 28 DÍAS DE EXPOSICIÓN A MICROPLÁSTICOS

Para determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas, en el crecimiento y desarrollo, entre los individuos de prueba, de los tres grupos expuestos a MP y el grupo de control, se aplicó el test One-Way ANOVA.

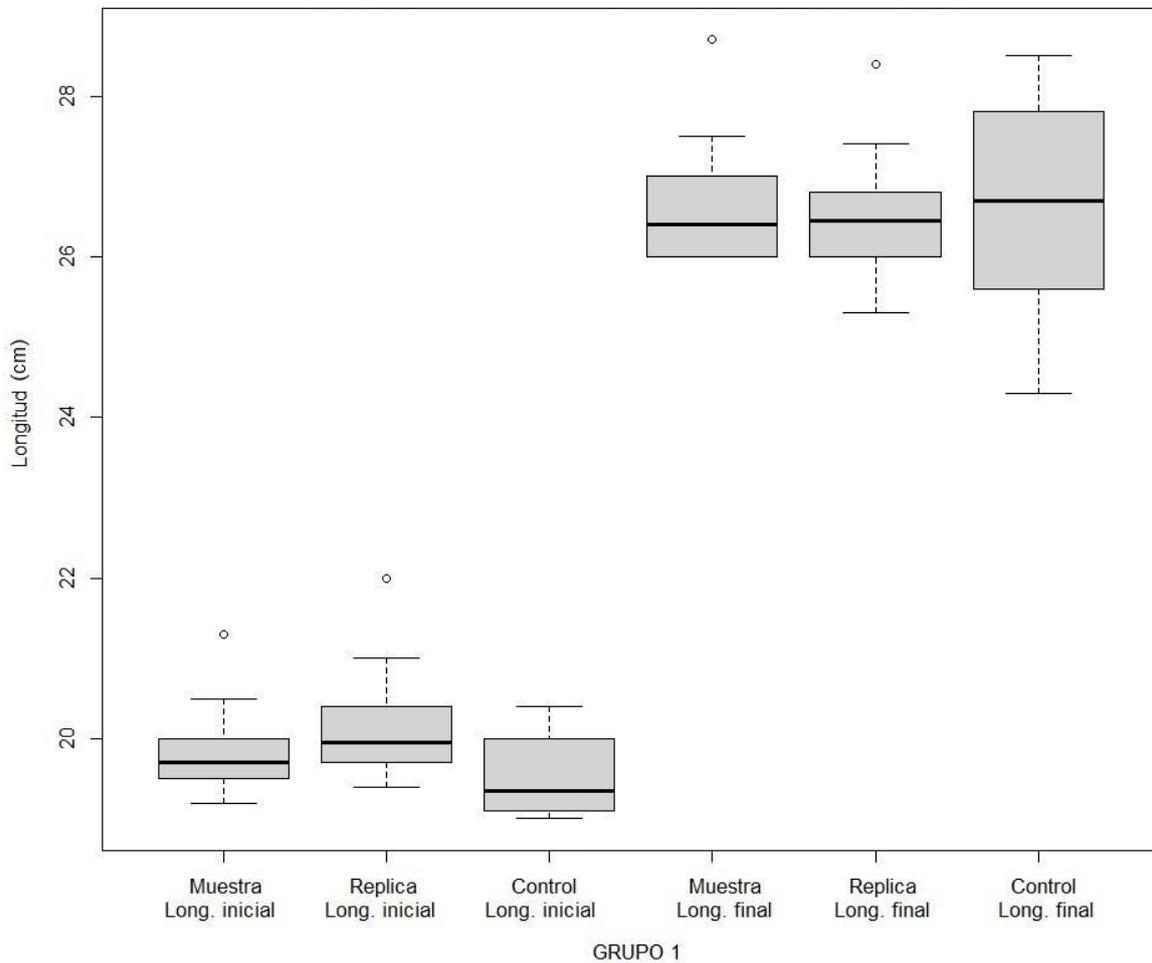
La Figura 20, muestra los pesos de las truchas que fueron expuestas al 20% de MP, con tamaño de partícula de 1.5 y 3 mm, versus las truchas de control. No se

observaron diferencias significativas, tanto en los pesos iniciales ( $F=1.24$ ,  $p\text{-value}=0.32$ ), como en los pesos finales ( $F=1.13$ ,  $p\text{-value}=0.35$ ); sin embargo, el peso promedio de los individuos del grupo de control (249.76 g), en comparación con los promedios del grupo 1 (20 % MP), (235.44 g), fue mayor en 5% aproximadamente, lo que permite afirmar que las truchas no expuestas al MP, eventualmente podrían mejorar su desarrollo.



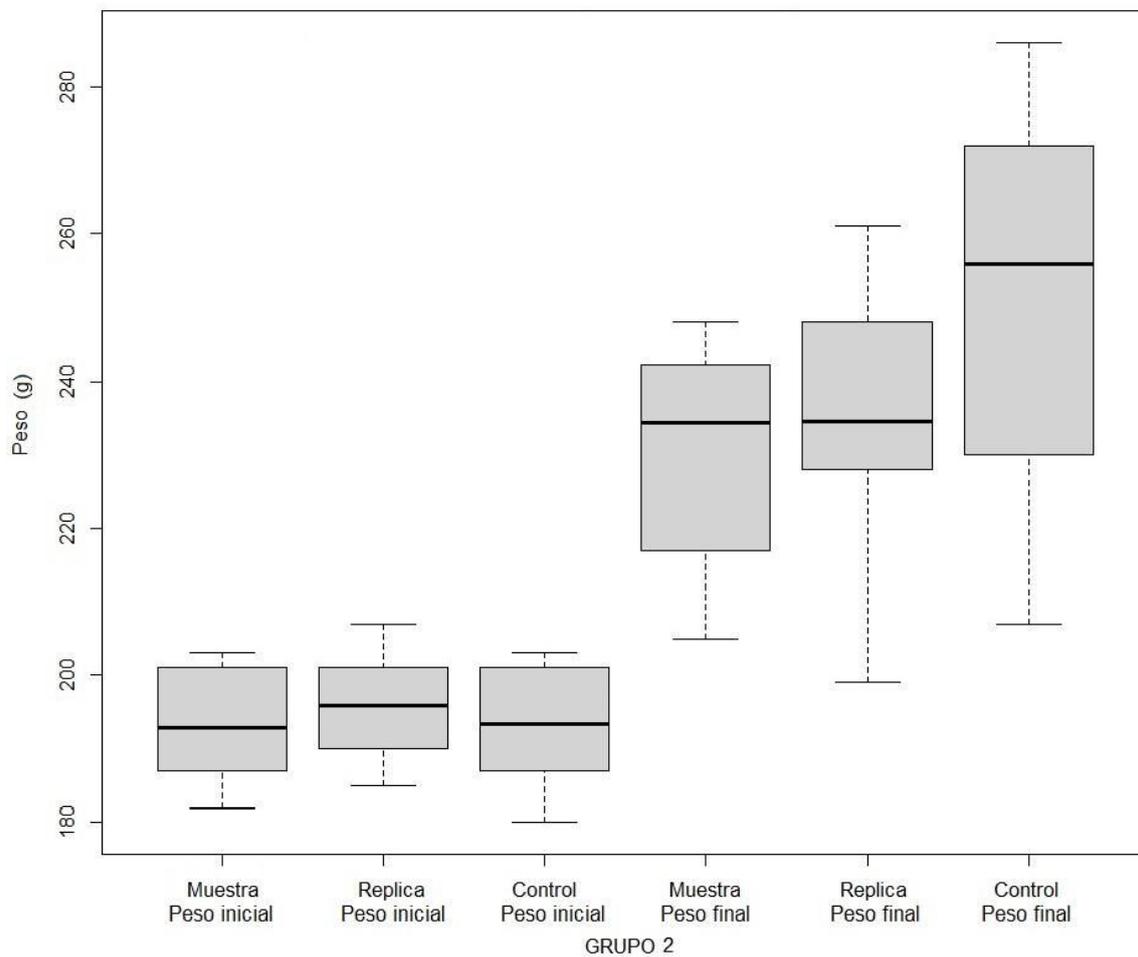
**Figura 20:** Boxplots de peso inicial y peso final de los organismos del grupo 1 (muestra y réplica), expuestos al 20% de MP versus el grupo de control.  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

La Figura 21 por otro lado, muestra que estadísticamente no se observan diferencias significativas entre la longitud inicial ( $F=1.94$ ,  $p\text{-value}=0.16$ ) y longitud final ( $F=0.02$ ,  $p\text{-value}=0.98$ ), del grupo 1 (20 % MP), cuyo promedio en crecimiento longitudinal fue del 26.62 cm, comparado con el grupo de control con 26.65 cm, valores que indican un crecimiento en longitud similar, en los 2 grupos comparados.



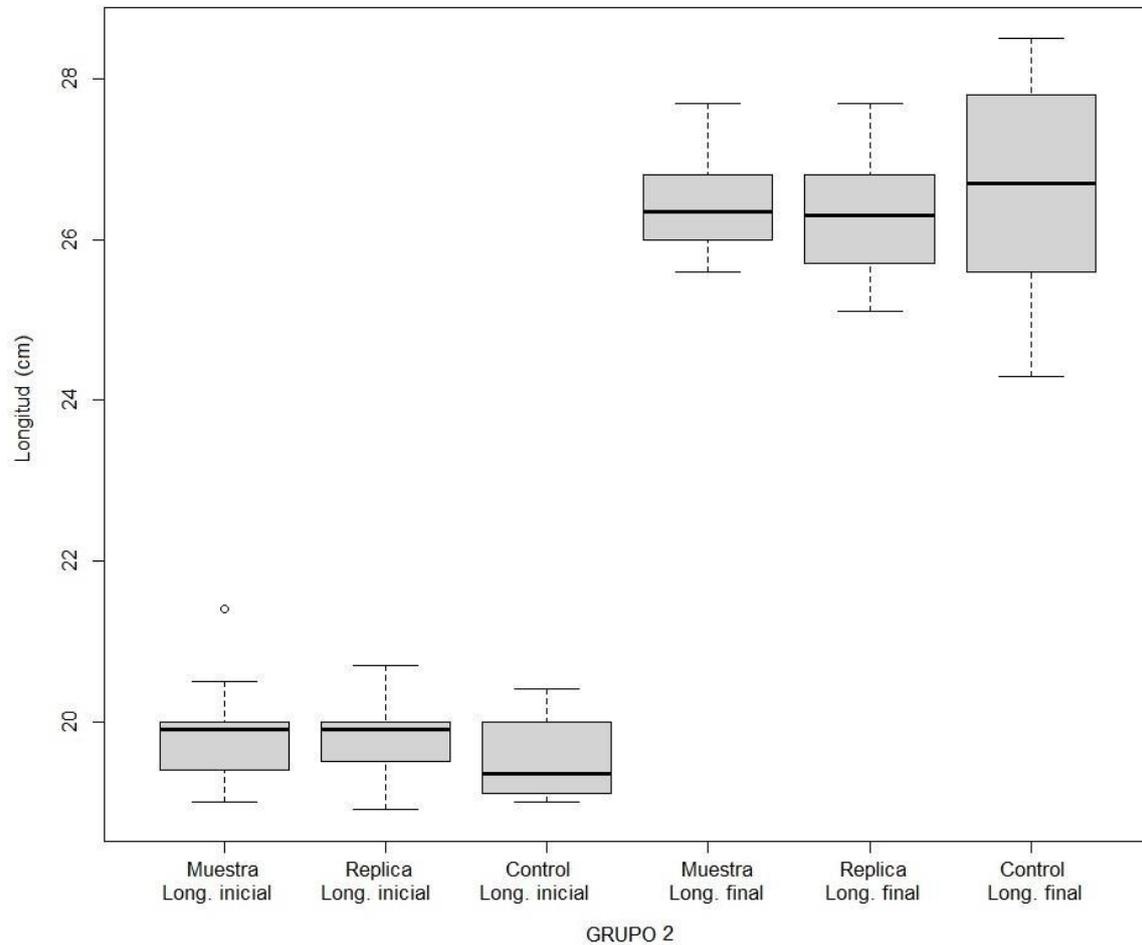
**Figura 21:** Boxplots de longitud inicial y longitud final de los organismos del grupo 1 (muestra y réplica) expuestos al 20% de MP versus el grupo de control  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Para los individuos del grupo 2, expuestos al 10% de MP, con tamaño de partícula 3 mm, la Figura 22, muestra que no hubo diferencias significativas en los pesos iniciales ( $F=0.28$ ,  $p\text{-value}=0.75$ ) y finales ( $F=1.67$ ,  $p\text{-value}=0.21$ ). Sin embargo, el promedio del peso final del grupo de control (249.76 g), es superior un 7%, comparado con el peso promedio del grupo 2 (232.915 g).



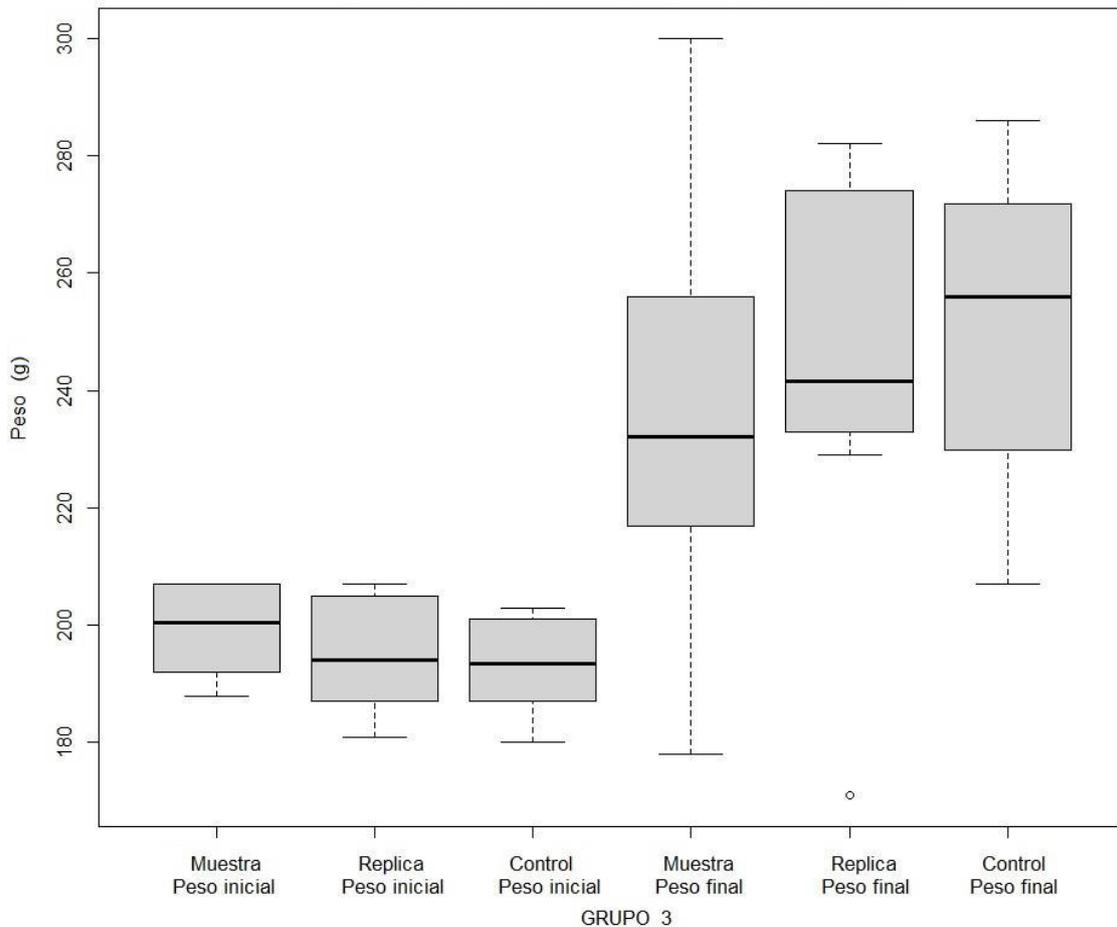
**Figura 22:** Boxplots de peso inicial y peso final de los organismos del grupo 2 (muestra y réplica) expuestos al 10% de MP versus el grupo de control.  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

La Figura 23, presenta la longitud inicial ( $F=0.88$ ,  $p\text{-value}=0.43$ ) y final ( $F=0.14$ ,  $p\text{-value}=0.87$ ) del grupo 2 (10% de MP) y el grupo de control. Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas y el valor promedio de longitud fue semejante en todos los casos.



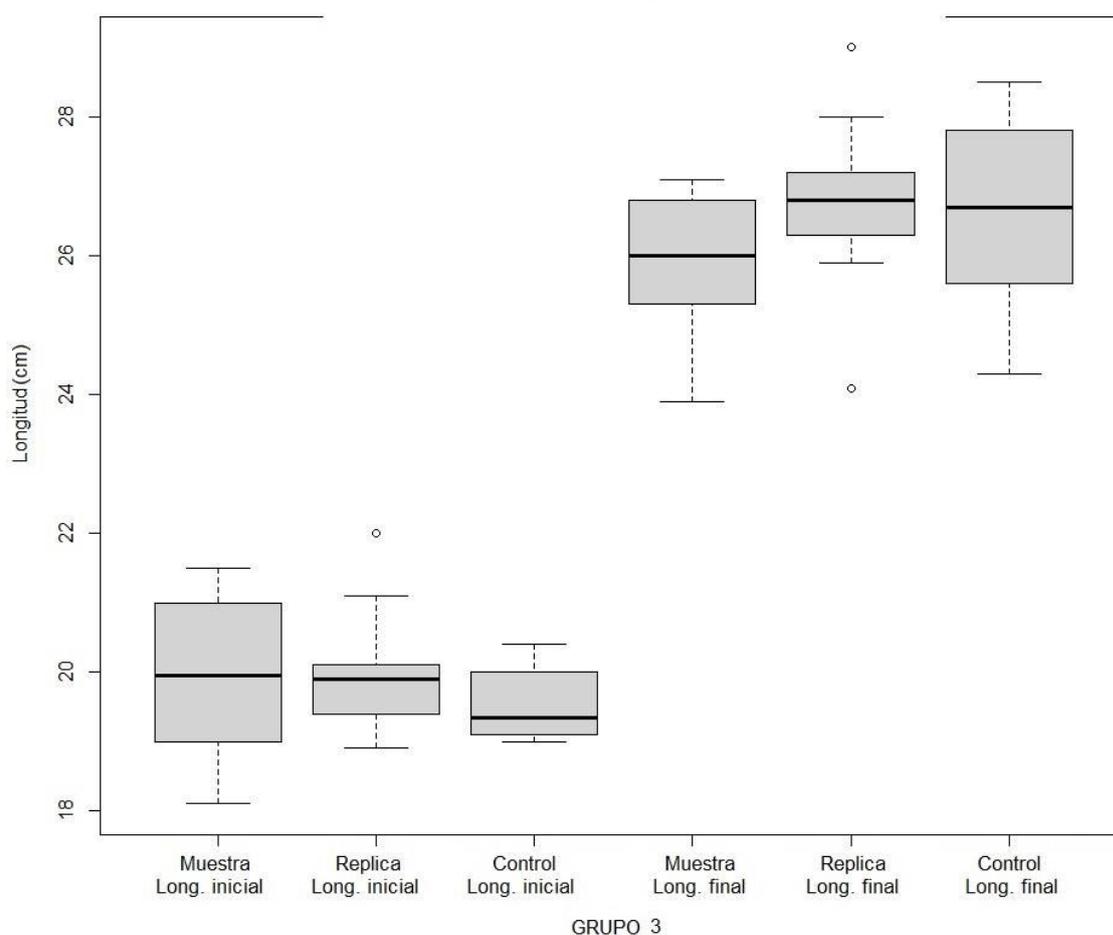
**Figura 23:** Boxplots de longitud inicial y longitud final de los organismos del grupo 2 (muestra y réplica) expuestos al 10% de MP versus piscina de control  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Para el grupo 3 (5% de MP), tamaño de partícula 1.5 mm, la Figura 24, también muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas tanto en los pesos iniciales ( $F=1.4$ ,  $p\text{-value}=0.27$ ) como finales ( $F=0.68$ ,  $p\text{-value}=0.52$ ). Nuevamente se observa un valor de peso promedio mayor, en 4%, en el grupo de control, demostrando que posiblemente si hay un efecto negativo en el peso de las truchas cuando estas ingieren MP, en diferentes concentraciones y tamaños.



**Figura 24:** Boxplots de peso inicial y peso final de los organismos del grupo 3 (muestra y réplica) expuestos al 5% de MP versus el grupo de control  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Por último, se realizó el análisis de la longitud en el grupo 3 (5% MP), como resultado no se obtuvo diferencias significativas en la longitud inicial ( $F=0.87$ ,  $p\text{-value}=0.56$ ) ni en la longitud final ( $F=1.67$ ,  $p\text{-value}=0.21$ ), tal y como se observa en la Figura 25. Además, al analizar los promedios de longitud se obtuvo valores parecidos en el grupo de control y el grupo 3, 26.39 y 26.65 cm, respectivamente. Estos resultados demuestran que el microplástico posiblemente genera un efecto negativo en la ganancia de peso de los individuos de prueba y más no en su crecimiento longitudinal. Probablemente con mayor número de muestras y una exposición a MP más prolongada, se podría determinar estadísticamente una diferencia significativa.



**Figura 25:** Boxplots de longitud inicial y longitud final de los organismos del grupo 3 (muestra y réplica) expuestos al 5% de MP versus el grupo de control  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

En todos los experimentos de diferentes concentraciones de MP no se encontraron diferencias significativas en los pesos y longitudes finales ( $p\text{-value} > 0.5$ ), al igual que en el estudio del pez dorado realizado por Solomando *et al.*, (2020). Donde se afirma que, tras un periodo de 90 días de exposición, no se observó diferencias significativas entre el peso total de los individuos de la dieta de control con los individuos de la dieta con MP al 10%.

Pero al analizar las figuras de todas las concentraciones, se observa una ligera tendencia de aumento en el peso final de las truchas que pertenecen al grupo de control. Estos resultados se corroboran con Huerta Lwanga *et al.*, (2016) donde mencionan que dosis altas de MP causan pérdidas de peso y menores tasas de crecimiento. Este estudio da una indicación de que existe una posible afección en

el crecimiento de las truchas debido a la ingesta de MP en concentraciones desde el 5 al 20%.

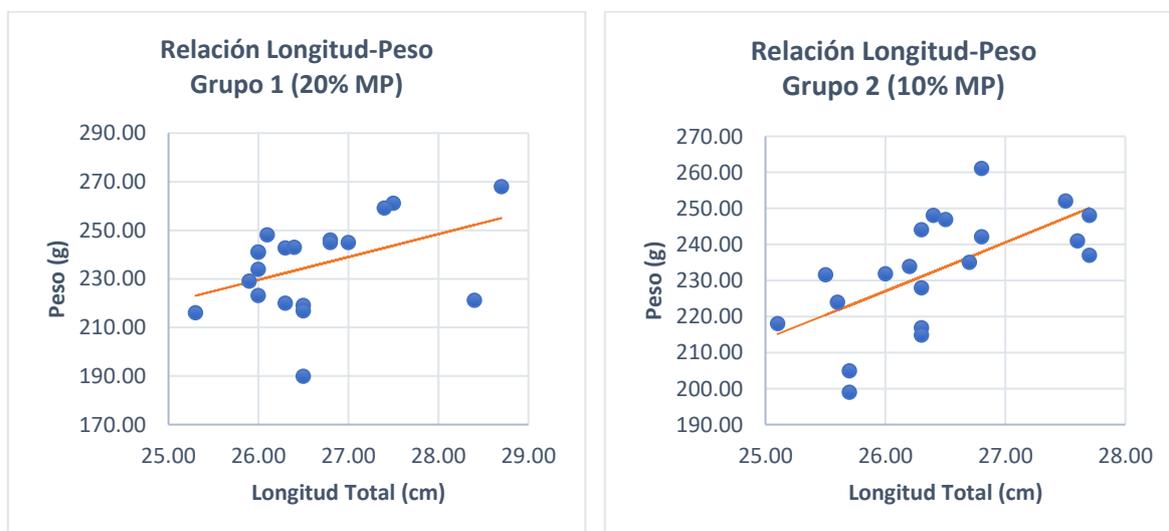
#### 4.2.2 RELACIÓN LONGITUD-PESO Y FACTOR DE CONDICIÓN DE FULTON K

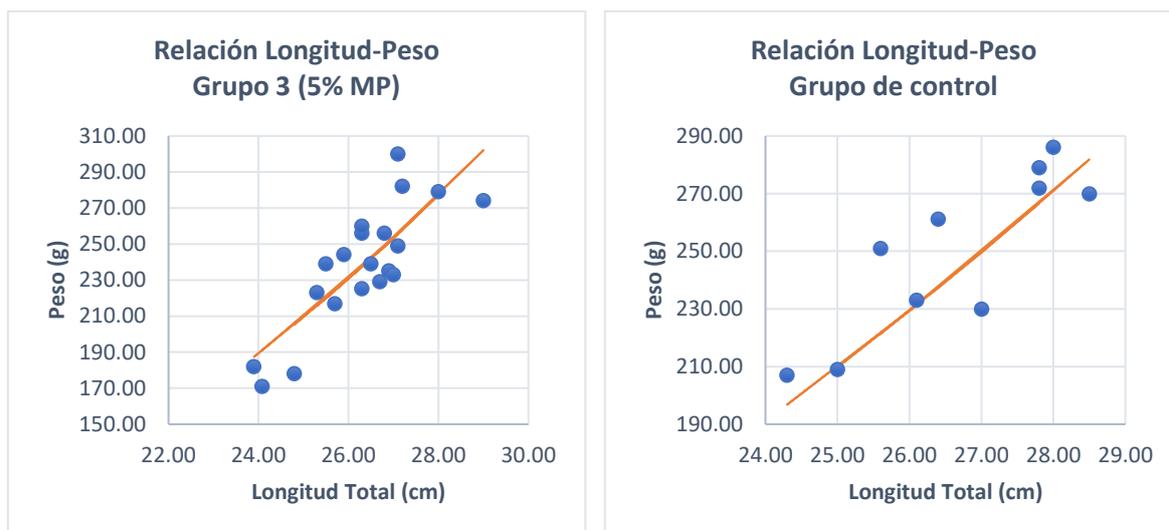
La Tabla 17 y Figura 26, presentan la relación longitud-peso de los individuos expuestos a diferentes concentraciones de MP versus los individuos del grupo de control. Se puede observar que, para el 20% y 10% de MP, los coeficientes de correlación,  $r^2 = 0.11$  y  $0.37$ , respectivamente, mientras que para el grupo de control  $r^2 = 0.72$ , lo que demuestra que no existe una relación peso-longitud mientras que para el grupo del 5% de MP, el  $r^2$  es semejante al obtenido en el grupo de control, lo que hace inferir la existencia de un efecto en la relación peso-longitud de las truchas, debido a la ingesta de MP.

**Tabla 17.** Ecuación de relación longitud-peso, para el 20,10 y 5% de MP y coeficiente de correlación  $r^2$

Grupo	MP	Ecuación de relación longitud-peso ( $W = aL^b$ )	Coefficiente de correlación ( $r^2$ )
#	%		
1	20	$W = 7,23L^{1,06}$	0,11
2	10	$W = 1,56L^{1,52}$	0,37
3	5	$W = 0,07L^{2,46}$	0,70
Control	-	$W = 0,14L^{2,25}$	0,72

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)





**Figura 26.** Relación Longitud-Peso de los individuos por concentración de MP  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Los resultados descritos en este numeral se asemejan con el estudio de Huerta Lwanga *et al.*, (2016), que afirma que altas concentraciones de MP, pueden ocasionar afecciones en el desarrollo normal de los individuos, pues es material orgánico inerte. Es por ello, mientras mayor es la concentración de MP suministrada, mayor diferencia existe en la relación longitud-peso de los individuos expuestos a MP, por el nulo aporte nutricional del MP.

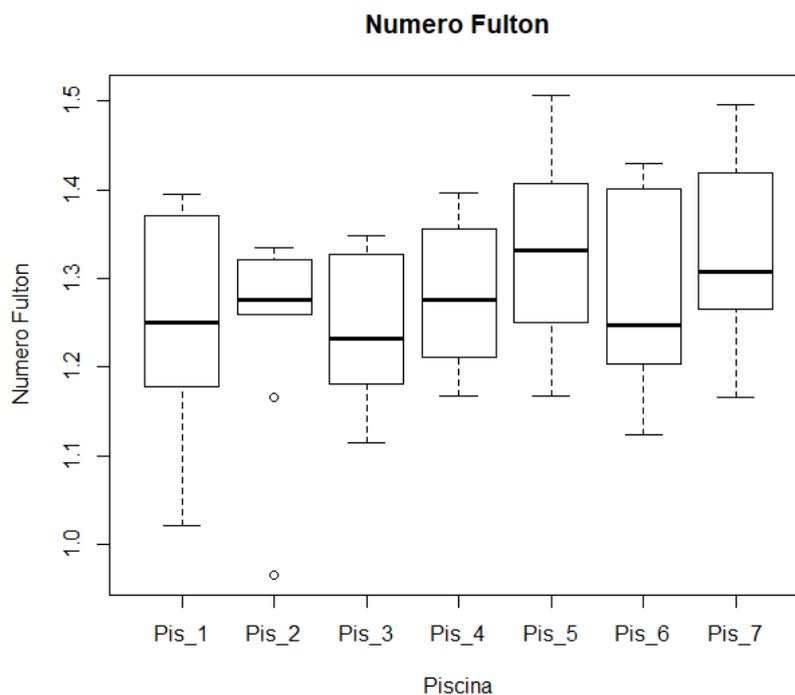
Con respecto al factor de condición de Fulton, K, como se observa en la Figura 27, no se obtuvieron diferencias significativas ( $F = 1.16$ ,  $p\text{-value} = 0.34$ ). Las truchas arco iris estudiadas no presentaron signo de estrés, puesto que  $K > 1$  (Tabla 18). Excepto un caso en la piscina 2 (20% de MP), donde se encontró a un individuo con signos de estrés ( $K=0.97$ ).

**Tabla 18.** Grado de estrés obtenido en los individuos de las piscinas sometidas a MP (muestra y replica) y la piscina de control tras aplicar la ecuación del factor de la condición de Fulton

Factor de la condición de Fulton (K)						
GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3		Grupo de Control
piscina 1	piscina 2	piscina 3	piscina 4	piscina 5	piscina 6	
MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	MUESTRA	REPLICA	
1.02	1.28	1.11	1.21	1.33	1.4	1.3
1.33	0.97	1.32	1.17	1.38	1.28	1.27
1.37	1.26	1.19	1.23	1.28	1.43	1.42
1.4	1.27	1.33	1.17	1.33	1.12	1.44

1.26	1.17	1.33	1.36	1.41	1.21	1.31
1.18	1.33	1.15	1.4	1.51	1.27	1.34
1.13	1.32	1.35	1.34	1.25	1.18	1.17
1.37	1.32	1.18	1.3	1.44	1.2	1.3
1.24	1.33	1.26	1.25	1.24	1.4	1.17
1.21	1.27	1.21	1.38	1.17	1.22	1.5

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



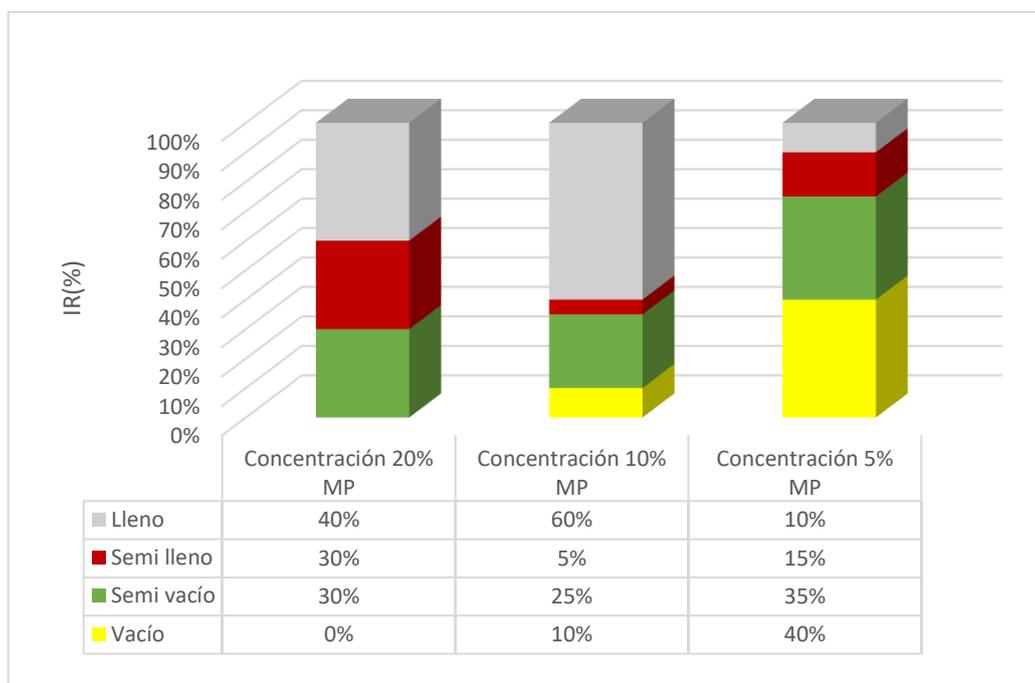
**Figura 27.** Boxplots que comparan el número de Fulton (signos de estrés) de las piscinas sometidas a diferentes concentraciones de MP y el blanco.

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

#### 4.2.3 ÍNDICE DE REPLECIÓN (IR)

Los resultados del análisis de la condición de los tractos intestinales, de los individuos investigados, permitieron categorizarlos en cuatro grupos: vacíos, semivacíos, semilenos y llenos. En la Figura 28, se observa que: de los 20 individuos del grupo 1, expuestos al 20 % MP, el 70% de los individuos se categorizaron con tractos gastrointestinales llenos o semilenos de MP. Para el grupo 2, expuestos al 10% de MP, el 65% de individuos (13 truchas de 20), se categorizaron con estómagos llenos o semilenos de MP. Finalmente, para el grupo 3, expuestos al 5% de MP, solo el 25% de individuos (4 truchas de 20), se clasificaron con tractos digestivos llenos y semilenos de MP. Estos resultados

indican que las truchas que consumieron 20% y 10% de MP, tuvieron una mayor afinidad hacia el alimento suministrado (piensos + MP).



**Figura 28.** Índice de Repleción por concentración de MP.  
Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

Durante la disección no se observaron daños físicos a nivel del sistema digestivo, de los individuos investigados, pero si bioacumulación de MP, que en el tiempo podría causar obstrucción del sistema digestivo, disminución de fuentes de energía o alteraciones endocrinas. Además, es importante mencionar que el MP encontrado en las tráqueas digestivas de las truchas no presentó cambio visible, en tamaño, color, o aspecto, es decir mantuvo las características físicas de un inicio.

### 4.3 CUANTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

#### 4.3.1 ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MP EN LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS AL 20% MP Y TAMAÑO DE PARTÍCULA 1.5 Y 3 mm

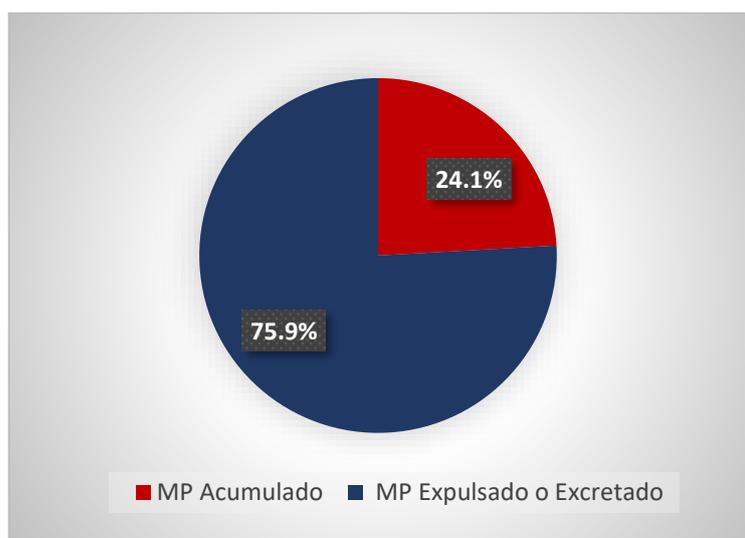
Del total de 20 individuos expuestos al 20% MP, de 1.5 y 3 mm de tamaño de partícula, se obtuvo que, tras 28 días de exposición, la cantidad promedio de MP acumulado, en la tráquea gastrointestinal, fue de 24.1%, del total suministrado; se infiere que el 75.9%, logro ser excretado o expulsado. La

Tabla 19 y Figura 29, presentan las cantidades y porcentajes, promedio del MP, suministrados, acumulados, y eliminados, para el grupo 1, expuesto al 20 % de MP.

**Tabla 19.** % MP suministrado, acumulado y eliminado, en los individuos expuestos al 20% de MP y tamaño de partícula 1.5 y 3 mm.

Grupo 1	MP total acumulado en 10 individuos al final del ensayo	MP promedio acumulado por individuo al final del ensayo	MP total suministrado como alimento a 10 individuos	MP acumulado en 10 individuos después del ensayo en relación con la cantidad proporcionada	MP excretado o expulsado
	g	g	G	%	%
Muestra	25.46	2.55	107.52	23.7	76.3
Replica	26.38	2.64		24.5	75.5
Promedio	25.92	2.6		24.1	75.9
Desviación estándar	0.65	0.064		0.56	

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 29:** % promedio de MP acumulado o eliminado en los individuos expuestos al 20% de MP.

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

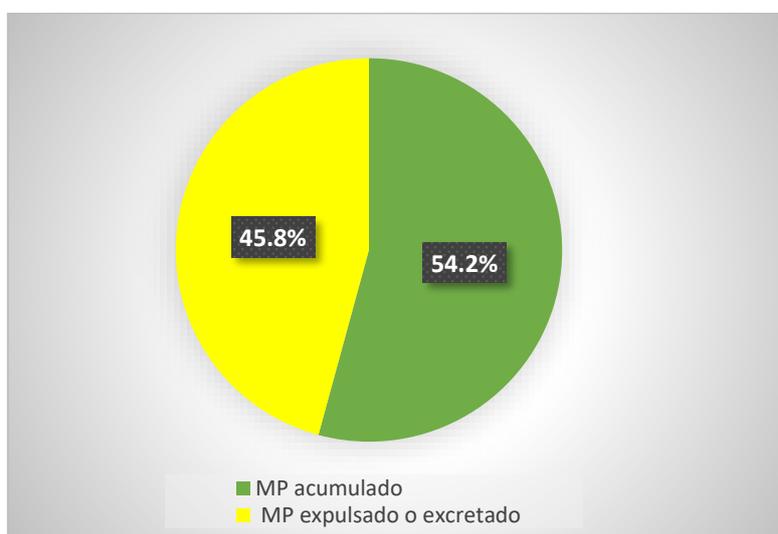
#### 4.3.2 ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MP EN LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS AL 10% MP Y TAMAÑO DE PARTÍCULA 3 mm

En el grupo 2 (10% de MP) y tamaño de partícula 3 mm, se obtuvo un porcentaje promedio de acumulación de 54.2%, con una tasa de expulsión o excreción del 45.8%, valores que son reflejados en la Tabla 20 y la Figura 30.

**Tabla 20.** % MP suministrado, acumulado y eliminado, en los individuos expuestos al 10% de MP y tamaño de partícula 3 mm.

Grupo 2	MP total acumulado en 10 individuos al final del ensayo	MP promedio acumulado por individuo al final del ensayo	MP total suministrado como alimento a 10 individuos	MP acumulado en 10 individuos después del ensayo en relación con la cantidad proporcionada	MP eliminado
	g	g	G	%	%
Muestra	28.68	2.87	53.76	53.3	46.7
Replica	29.62	2.96		55.1	44.9
Promedio	29.15	2.92		54.2	45.8
Desviación estándar	0.66	0.063		1.27	

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)



**Figura 30:** % promedio de MP acumulado o eliminado en los individuos expuestos al 10% de MP.

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

#### 4.3.3 ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE MP EN LOS INDIVIDUOS EXPUESTOS AL 5% DE MP Y TAMAÑO DE PARTÍCULA 1.5 mm

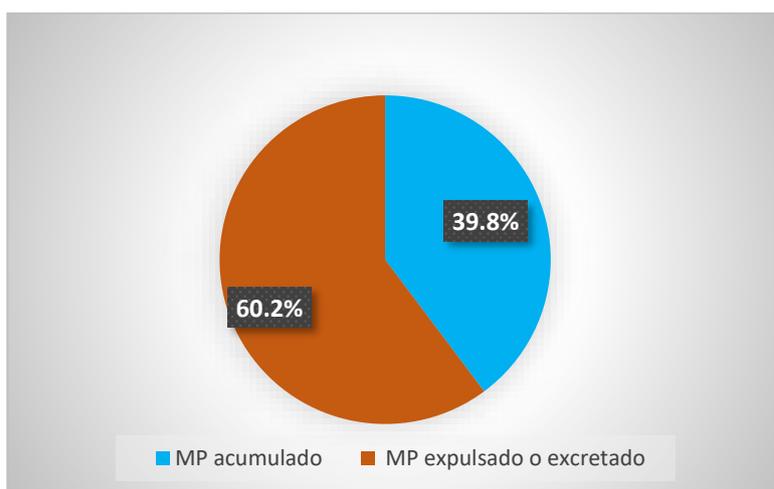
Para el grupo 3 (5% de MP), tamaño de partícula 1.5 mm, se logró una acumulación de 10.7 g en un periodo de 28 días, lo que se traduce en un porcentaje de acumulación de 39.8%. El porcentaje sobrante de 60.2 %, se asume fue expulsado o excretado durante el ensayo. La , presentan las cantidades y porcentajes, promedio del MP, suministrados, acumulados, y eliminados, para el grupo 3, expuesto al 5 % de MP.

**Tabla 21** y Figura 31, presentan las cantidades y porcentajes, promedio del MP, suministrados, acumulados, y eliminados, para el grupo 3, expuesto al 5 % de MP.

**Tabla 21.** % MP suministrado, acumulado y eliminado, en los individuos expuestos al 5% de MP y tamaño de partícula 1.5 mm.

Grupo 3	MP total acumulado en 10 individuos al final del ensayo	MP promedio acumulado por individuo al final del ensayo	MP total suministrado como alimento a 10 individuos	MP acumulado en 10 individuos después del ensayo en relación con la cantidad proporcionada	MP eliminado
	g	g	G	%	%
Muestra	10.58	1.06	26.88	39.3	60.7
Replica	10.82	1.08		40.3	59.7
Promedio	10.7	1.07		39.8	60.2
Desviación estándar	0.17	0.014		0.7	

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

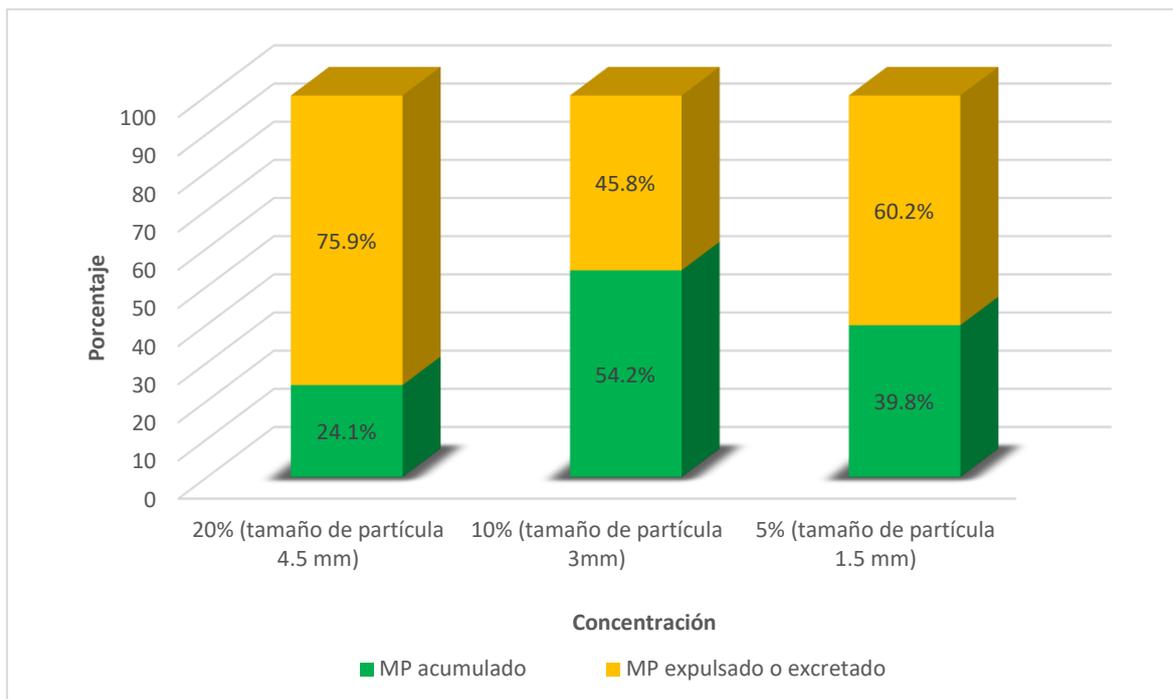


**Figura 31:** % promedio de MP acumulado o eliminado en los individuos expuestos al 5% de MP.

Elaborado por: Caiza & Criollo (2021)

#### 4.3.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS GRUPOS DE PRUEBA EXPUESTOS A MP

La Figura 32, muestra la cantidad acumulada y eliminada de MP, por los individuos investigados, durante los 28 días de exposición, para las 3 concentraciones, 5, 10 y 20% de MP y 3 tamaños de partícula, estudiados. Se puede observar que el porcentaje de acumulación en los individuos expuestos al 20% de MP (tamaño 1.5 y 3 mm), es bajo, seguido por la concentración del 5% MP (tamaño 1.5 mm), y finalmente, con el mayor porcentaje de acumulación se posiciona la concentración del 10% de MP (tamaño 3 mm).



**Figura 32:** Acumulación y eliminación de MP en los individuos de las concentraciones 20%, 10% y 5%  
**Elaborado por:** Caiza & Criollo (2021)

Comparando los resultados de todos los ensayos se observa que la concentración del 20% de MP, acumuló menor cantidad de MP (24.1%) en comparación con las concentraciones del 10% y 5%. Xiong *et al.*, (2019) menciona que los microplásticos más pequeños son fácilmente ingeridos porque pasan desapercibidos y microplásticos más grandes, se hallan más rápidamente y pueden ser expulsados de forma fácil. Además, menciona que el tamaño también influye en las tasas de depuración, es decir MP más pequeños, se pueden retener en el tracto digestivo por más tiempo, y son expulsados en un periodo de tiempo más largo. Tomando esta referencia, se asume que para el 20% de MP, con tamaño de partícula de 1.5 y 3 mm, las partículas fueron detectadas por los individuos de prueba, y en gran parte los MP ingeridos, fueron expulsados o excretados. Aunque, los individuos expuestos al 10% y 5% del MP, con tamaño de partícula de 3 mm y 1.5 mm, respectivamente, obtuvieron mayores porcentajes de acumulación. Sería importante realizar estudios con la trucha arcoíris y MP más pequeños, para determinar si efectivamente el tamaño del MP incide en la acumulación en el tracto digestivo de esta especie.

Por otro lado, para interpretar los porcentajes de acumulación se tomó como referencia Solomando *et al.*, (2020), quienes en su estudio utilizaron 600 peces dorados (*Sparus aurata*), que fueron clasificados en 6 tanques repartidos con 100 individuos cada uno, con una dieta de MP al 10% y un tamaño de partícula de 200 a 500  $\mu\text{m}$ , tras 30 días de exposición y con el sacrificio de 9 individuos, el porcentaje de acumulación de microplásticos fue de 9.9%. En comparación con el presente estudio, en donde la dieta del 10% de MP, mostro una acumulación del 54.2 %, la del 5% un 39.8 % y la del 20% MP un total del 24.1 %. Estas diferencias de acumulación, cuando las concentraciones son las mismas, se pueden deber al tipo de especie, ya que la inducción de MP puede generar estrés del individuo y causar un desequilibrio en diferentes funciones biológicas, desequilibrio que se ve influenciado por el tipo y edad de la especie (Schöpfer *et al.*, 2020). En algunos casos puede causar: alteración endocrina (Rochman *et al.*, 2014), aumento de la tasa de mortalidad (Huerta Lwanga *et al.*, 2016), disminución del crecimiento (Huerta Lwanga *et al.*, 2016; Naidoo & Glassom, 2019), daños intestinales (Rodríguez-Seijo *et al.*, 2017) y alteraciones reproductivas (Schöpfer *et al.*, 2020). En el caso de la trucha arcoíris, existe una ligera tendencia de inhibición en el aumento de peso de los individuos, a pesar de que esta especie es conocida por su gran resistencia a los cambios. Cabe mencionar que durante el periodo de experimentación no se presentaron casos de mortalidad y no se evaluó posibles alteraciones reproductivas o endocrinas, porque el estudio se basó en la acumulación de MP y variaciones en los aspectos de crecimiento y desarrollo.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

**Objetivo 1.** Construir y adecuar las piscinas requeridas para los bioensayos de toxicidad, mediante excavaciones de suelo en el área del criadero, con flujo constante de entrada y salida de agua natural.

La construcción y adecuación de las siete piscinas (6 de ensayo, 1 de control), en el Criadero de truchas Rincón Torcasa, sector Cariacu, cantón Cayambe, se realizó de manera exitosa. El seguimiento de las recomendaciones del manual de la FAO para el diseño y construcción facilitó la ejecución de la investigación, permitiendo un hábitat similar al llevado a cabo, a nivel industrial, en el criadero, para así evitar posibles efectos adversos por cambio de medio. Además, la medición de parámetros fisicoquímicos permitió conocer que tanto el OD como conductividad se encuentran dentro del rango óptimo para la crianza de truchas. La temperatura por otro lado, al ubicarse por debajo de lo óptimo pudo haber incidido en el crecimiento de las truchas, ralentizándolo, ya que estos individuos son poiquilotermos.

**Objetivo 2:** *Diseñar y preparar manualmente los pellets de alimentación, con 3 diferentes concentraciones y tamaños de microplástico para suministrar a los organismos de prueba, como alimento 2 veces por día.*

La contaminación deliberada de los pellets alimenticios con MP, facilitó el control de la cantidad de MP administrado, vía oral, a los organismos de prueba, durante todo el periodo de exposición crónica (28 días), y permitió controlar tanto la cantidad exacta, como el tamaño partícula de MP a ser suministrado, a los individuos, y así mantener un registro exacto del MP ingerido por los organismos de prueba durante toda la fase experimental.

El tamaño y la concentración de MP, jugaron un papel importante, ya que a mayor concentración de MP menor tasa de acumulación, esto debido a que los individuos de prueba son capaces de eliminar parcialmente el MP. Este MP, al tener un tamaño de partícula más grande es más perceptible dentro del sistema digestivo,

el mismo que actúa de tal forma que trata de purgar el material que no aporta nutrientes. Es decir, el MP con tamaño grande, no se acumula en el tracto gastrointestinal, a diferencia de tamaños más pequeños en donde sucede lo contrario.

**Objetivo 3:** *Aclimatar a las truchas adultas durante 2 semanas en las piscinas piloto, antes de someterlas al bioensayo de toxicidad.*

Durante el periodo de aclimatación, los individuos de prueba, de las 7 piscinas no mostraron cambios en su comportamiento. Tampoco se observó mortalidad, lo que permite concluir que, la densidad poblacional de 10 individuos/m<sup>2</sup>, fue apropiada para la fase experimental. Se asume que el espacio y diseño de cada piscina fue el óptimo necesario para que se desenvuelvan normalmente y no se vean afectadas por la reducción del espacio al que generalmente están acostumbradas. El patrón de alimentación fue similar al que lleva a cabo el acuicultor, alimentando a los individuos dos veces por día. Los valores de calidad de agua variaron durante el periodo de experimentación ya que depende de las condiciones y estado del río Cariacu.

**Objetivo 4:** *Exponer a los organismos de prueba al bioensayo de toxicidad subaguda con microplásticos por un periodo de 4 semanas.*

Los organismos de prueba fueron expuestos, vía oral, a través del alimento, con pellets contaminados con MP dos veces por día, por un periodo de 4 semanas. Durante este tiempo se cuidó que todos los pellets sean ingeridos por los individuos, asegurando la cantidad, concentración y tamaño de MP que consumían los individuos en cada piscina. A la semana del ensayo fue común observar MP en los sedimentos de las piscinas, excepto en la piscina de control (blanco), por lo que se asume que el MP suministrado, lograba ser eliminado a modo de expulsión o excreción. Durante el transcurso de la experimentación no se evidenció individuos con cambios en el comportamiento, es decir su nado fue normal al igual que su apetito y en ningún grupo se observó mortalidad o morbilidad; lo que permite afirmar que a los 28 días de exposición a MP, en los tamaños y cantidades estudiadas, los individuos no mostraron cambios físicos o de conducta. Adicionalmente, cuando el MP ingresaba al sistema digestivo, cierta cantidad, lograba ser eliminada por lo que,

al finalizar la exposición era evidente que no exista casos de acumulación de MP al 100%.

**Objetivo 5:** *Determinar la cantidad de microplástico acumulado en los organismos luego de 4 semanas de exposición.*

Todos los individuos de prueba mostraron bioacumulación de MP en la tráquea digestiva. Tanto la cantidad como el tamaño de partícula del MP influyeron directamente en el grado de acumulación. Los individuos que ingirieron el 20% de MP con tamaño de partícula 1.5 y 3 mm presentaron una tasa de acumulación del 24%, a diferencia de las concentraciones del 10% tamaño 3mm y 5% tamaño 1.5 mm que mostraron una acumulación del 54% y 40% de MP, respectivamente. Estos valores indican que tanto la concentración de MP, como el tamaño de partícula, puede jugar un papel crucial en los índices de acumulación.

**Objetivo 6:** *Evaluar si la exposición a microplásticos altera el crecimiento y desarrollo, en la especie *Oncorhynchus mykiss*.*

El test estadístico One-Way ANOVA, aplicado a los datos de longitud y peso, de cada uno de los organismos, antes y después del periodo de exposición de 28 días, no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de prueba y el blanco. Sin embargo, las gráficas de caja (boxplots) mostraron la existencia de una ligera tendencia a la disminución de crecimiento en los individuos que fueron expuestos a microplásticos; de igual forma, los gráficos de relación longitud-peso permiten demostrar que existe una afectación en el crecimiento en los peces, cuando ingieren MP. Por lo que se concluye que posiblemente existe afección en el crecimiento de las truchas si son expuestas a concentraciones de MP en un rango que va del 5 al 20% en relación con el peso del balanceado.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la experimentación, se recomienda someter a las truchas a un tiempo de exposición más prolongado, con el objetivo de encontrar diferencias estadísticamente significativas en los aspectos de crecimiento y desarrollo. La presente investigación únicamente mostro tendencias de lo que les puede suceder a las truchas si estas consumen MP en un corto periodo de tiempo.
- Finalizado el periodo de exposición a MP, se recomienda someter a los individuos a un periodo de depuración de la tráquea gastrointestinal, por al menos 30 días, a fin de dilucidar si el MP ingerido es bioacumulable o depurable. Esta información será útil pues si tras 30 días de digestión no existe presencia de MP, se puede concluir que la acumulación de MP en fue temporal y solo ocurre durante la exposición.
- Realizar bioensayos con otras especies piscícolas a fin de determinar si es una variable que influye en la bioacumulación de MP. En el caso de la trucha arcoíris al ser una especie resistente, se considera que esta soportó la exposición a MP debido a que se adapta fácilmente a los cambios, lo que no puede necesariamente suceder con especies que son endémicas o nativas, en donde cualquier cambio en su hábitat puede causar daños serios en el organismo y una posible muerte precoz.
- Para futuros estudios, adicional a la evaluación de la acumulación de MP, se recomienda considerar también efectos físicos, anatómicos, endocrinos y reproductivos. La exposición a MP, no solo puede incidir en la acumulación y fallos digestivos, sino también en aspectos físicos o anatómicos del individuo, que deben ser evaluados para explicar el verdadero problema del MP cuando este está disponible en los ecosistemas.
- Se recomienda que los organismos de prueba sean expuestos a mismas concentraciones de MP con diferente tamaño de partícula o a diferentes concentraciones de MP con igual tamaño de partícula, para determinar cuál de estos dos factores es el que incide más el proceso de bioacumulación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, I. (2020). La ley que regula el uso de plásticos en el Ecuador ya está en el Registro Oficial. *El Comercio*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/tendencias/ley-plasticos-ecuador-registro-oficial.html>
- Albertini-Berhaut, J. (1974). Biologie des stades juveniles de Teleosteens Mugilidae *Mugil auratus* Risso 1810, *Mugil capito* Cuvier 1829 et *Mugil saliens* Risso 1810. *Aquaculture*, 4(C), 13–27. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(74\)90015-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(74)90015-5)
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Área Tecnología. (2010). *Plásticos*. Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/LOS PLASTICOS.htm>
- Arriaza, J., Sandoval, G., Cortes, E., & Pozo, K. (2019). *Un mar de micro plásticos en Chile: Propuestas para minimizar sus efectos en la Salud y el Medioambiente*. Recuperado de <https://fit.uss.cl/content/uploads/2019/05/Un-Mar-de-Micro-Plasticos.pdf>
- Ašmonaite, G., Sundh, H., Asker, N., & Carney Almroth, B. (2018). Rainbow Trout Maintain Intestinal Transport and Barrier Functions Following Exposure to Polystyrene Microplastics. *Environmental Science and Technology*, 52(24), 14392–14401. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04848>
- Bizarro, C. (2017). *Microplastics as vectors of heavy metals for fish* [UNIVERSIDADE DE LISBOA]. Recuperado de [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/32017/1/ulfc124347\\_tm\\_Cheila\\_Alexandre.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/32017/1/ulfc124347_tm_Cheila_Alexandre.pdf)
- Bruschweiler, E. D., Danuser, B., Huynh, C. K., Wild, P., Schupfer, P., Vernez, D., Boiteux, P., & Hopf, N. B. (2012). Generation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during woodworking operations. *Frontiers in Oncology*, 2, 148. <https://doi.org/10.3389/fonc.2012.00148>
- CAIRPLAS. (2020). *Qué son los plásticos*. <https://cairplas.org.ar/plasticos/> Recuperado de: <https://cairplas.org.ar/plasticos/>
- Calderon, H., Martínez, P., & Muñoz, J. (2020). Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del río Magdalena en la ciudad de Neiva, Colombia. En E. Serna (Ed.), *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (Quinta). IAI. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4031208>
- Cardenas, J. (2015). *Qué es ANOVA de un factor y cómo analizarla fácilmente*. Recuperado de <http://networkianos.com/anova-de-un-factor-que-es-como-analizar/#toc-2>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. (2011). Microplastics as

- contaminants in the marine environment: A review | Lector mejorado de Elsevier. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597.
- Cole, M., Webb, H., Lindeque, P. K., Fileman, E. S., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific Reports*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep04528>
- Crawford, C. B., & Quin, B. (2016). Microplastic Pollutants. En *Marine Pollution Bulletin* (1a ed., Vol. 1, Números 1–2). Elsevier Science.
- Delgado, O. (2019). *Implicaciones de la exposición a microplásticos en Salud Humana*. Universidad de Granada. Recuperado de [https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/56407/TFM\\_Olga\\_Delgado\\_Fimia.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/56407/TFM_Olga_Delgado_Fimia.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Echeverría, J. (2012). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE TRUCHAS CONDIMENTADAS PARA SU PREPARACIÓN EN LA COMUNIDAD LA DELICIA DE SAN FRANCISCO, PARROQUIA TUMBABIRO, CANTÓN URCUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA*. Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1697/1/TESIS.pdf>
- EFE. (2018). La ONU advierte de que sólo el 9 % del plástico usado en el mundo se recicla | Sociedad | Agencia EFE. *Agencia EFE*. Recuperado de <https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/la-onu-advierte-de-que-solo-el-9-del-plastico-usado-en-mundo-se-recicla/10004-3638488>
- Eljarrat, E. (2020). *El resurgir del plástico por culpa del coronavirus*. National Geographic España. Recuperado de [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/resurgir-plastico-por-culpa-coronavirus\\_15488](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/resurgir-plastico-por-culpa-coronavirus_15488)
- Estévez, R. (2013). *Los tipos de plásticos más habituales*. Recuperado de <https://www.ecointeligencia.com/2013/12/tipos-de-plasticos-habituales-1/>
- FAO. (2014). *Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2017). *LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS SECTORES DE PESCA Y ACUICULTURA ¿Qué sabemos? ¿Deberíamos preocuparnos?*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7677e.pdf>
- Fu, Z., Chen, G., Wang, W., & Wang, J. (2020). Microplastic pollution research methodologies, abundance, characteristics and risk assessments for aquatic biota in China. En *Environmental Pollution* (Vol. 266, p. 115098). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115098>
- Fundación Aquae. (2020). *Clasificación de los plásticos y su reciclaje*. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/tipos-de-plasticos/>
- García, J. A. (2019). *Microplásticos en el ambiente y su impacto en la cadena trófica*. Recuperado de

- <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/99246/6/jgarciareguT FM0719memoria.pdf>
- Germanov, E. S., Marshall, A. D., Hendrawan, I. G., Admiraal, R., Rohner, C. A., Argeswara, J., Wulandari, R., Himawan, M. R., & Loneragan, N. R. (2019). Microplastics on the Menu: Plastics Pollute Indonesian Manta Ray and Whale Shark Feeding Grounds. *Frontiers in Marine Science*, 6, 679. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00679>
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(9), 1513–1521. <https://doi.org/10.1039/C5EM00207A>
- Gómez, F., Valenzuela, A., & Acosta, J. (2019). Registro de micro y mesoplásticos en el tracto digestivo de la especie vulnerable *Oliveichthys cuyanus* (Siluriformes: Diplomystidae), en el río cordillerano Los Patos, San Juan, Argentina. *Multequina*, 28, 21–28.
- Greelane. (2019). *¿Cuáles son los plásticos más utilizados?*. Recuperado de <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnología-matemáticas/ciencia/most-common-plastics-820351>
- Greenpeace. (2016). *Datos sobre la producción de plásticos*. Greenpeace .
- Greenpeace España. (2017). *Plásticos - ES*. Recuperado de: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/>
- Hannapro. (2020). *Medición del oxígeno disuelto en el cultivo de truchas*. Recuperado de <https://hannainst.com.mx/boletines/medicion-del-oxigeno-disuelto-en-el-cultivo-de-truchas/>
- Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., Van Der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A. A., & Geissen, V. (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science and Technology*, 50(5), 2685–2691. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05478>
- INVEVAR. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos*. <http://www.invevar.org.co/redcostera1/invevar/docs/7010manualTécnicasanalíticas..pdf>
- JACUMAR. (2018). *ONCORHYNCHUS MYKISS*.
- Jiménez, E. (2017) *¿Cuánto plástico hay en el mundo?* Greenpeace-España. Recuperado de <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Blog/cunto-plastico-hay-en-el-mundo/blog/59905/>
- Juste, I. (2020). *TIPOS de PLÁSTICOS - Guía de Clasificación*. Ecología verde. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-plasticos-1732.html>
- Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso. (2020). Registro oficial No 354.
- Leyton, S., Muñoz, E., Gordillo S, M., Sánchez, G., Muñoz, L. A., & Soto, A. (2015).

Estimación del factor de condición de Fulton (K) y la relación longitud-peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río Cauca. *Rev. Aoc. Col. Ciencia*, 27, 21–28. [https://www.researchgate.net/publication/288344768\\_Estimacion\\_del\\_factor\\_de\\_condicion\\_de\\_Fulton\\_K\\_y\\_la\\_relacion\\_longitud-peso\\_en\\_tres\\_especies\\_icticas\\_presentes\\_en\\_un\\_sector\\_sometido\\_a\\_factor\\_es\\_de\\_estres\\_ambiental\\_en\\_la\\_cuenca\\_alta\\_del\\_rio\\_Cauca](https://www.researchgate.net/publication/288344768_Estimacion_del_factor_de_condicion_de_Fulton_K_y_la_relacion_longitud-peso_en_tres_especies_icticas_presentes_en_un_sector_sometido_a_factor_es_de_estres_ambiental_en_la_cuenca_alta_del_rio_Cauca)

Lino, J., & Gaibor, N. (2019). *MICROPLÁSTICO EN EL TRACTO DIGESTIVO DE Scomber japonicus, Opisthonema libertate Y Auxis thazard, COMERCIALIZADOS EN EL PUERTO PESQUERO DE SANTA ROSA, PROVINCIA DE SANTA ELENA ECUADOR*. [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5246/1/UPSE-TBM-2020-0003.pdf>

Ma, P., Wei Wang, M., Liu, H., Feng Chen, Y., & Xia, J. (2019). Research on ecotoxicology of microplastics on freshwater aquatic organisms. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 31(1), 131–137. <https://doi.org/10.1080/26395940.2019.1580151>

Marquez, C. (2019). Las truchas, la nueva opción de los agricultores | Revista Líderes. *Revista Líderes*. Recuperado de <https://www.revistalideres.ec/lideres/trucha-piscicultura-chimborazo-comunidades-produccion.html>

Mendoza, M. J., & Mendoza, K. T. (2020). *Presencia de microplásticos en peces pelágicos de mayor comercialización, en el mercado de “Playita Mía” de la ciudad de Manta*. Calceta: ESPAM MFL.

Ministerio de Educación. (2016). *Química*. Don Bosco. Recuperado de [https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/09/librostexto/Texto\\_quimica\\_3\\_BGU.pdf](https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/09/librostexto/Texto_quimica_3_BGU.pdf)

Murray, F., & Cowie, P. R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*, 62(6), 1207–1217. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.032>

Naidoo, T., & Glassom, D. (2019). Decreased growth and survival in small juvenile fish, after chronic exposure to environmentally relevant concentrations of microplastic. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.037>

National Geographic. (2010). *Trucha arcoíris*. Revista Nat Geo.

Noticias ONU. (2020) *La marea de plástico causada por el COVID-19 también es un peligro para la economía y la naturaleza | Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2020/07/1478011>

O'Donovan, S., Mestre, N. C., Abel, S., Fonseca, T. G., Carteny, C. C., Cormier, B., Keiter, S. H., & Bebianno, M. J. (2018). Ecotoxicological effects of chemical contaminants adsorbed to microplastics in the Clam *Scrobicularia plana*.

*Frontiers in Marine Science*, 5(APR), 143.  
<https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00143>

Ory, N. (2016). *Protocolo disección tracto digestivo pez para análisis microplásticos*. Chile. Recuperado de <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/docs2016/Mayo/ProtocoloDisseccionPez-CPPS2016F.pdf>

Pittura, L., Avio, C. G., Giuliani, M. E., d'Errico, G., Keiter, S. H., Cormier, B., Gorb, S., & Regoli, F. (2018). Microplastics as Vehicles of Environmental PAHs to Marine Organisms: Combined Chemical and Physical Hazards to the Mediterranean Mussels, *Mytilus galloprovincialis*. *Frontiers in Marine Science*, 5(APR), 103. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00103>

PlasticsEurope. (2018). *¿Qué son los plásticos?*. Recuperado de <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics>

Rochman, C. M., Kurobe, T., Flores, I., & Teh, S. J. (2014). Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Environment*, 493, 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051>

Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., da Costa, J., Duarte, A. C., Vala, H., & Pereira, R. (2017). Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environmental Pollution*, 220, 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.092>

Romeo, T., Pietro, B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F., & Fossi, M. C. (2015). First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 95(1), 358–361. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>

Sarria, R., & Gallo, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21–27.

SAS Institute Inc. (2020). *ANOVA de un factor*. [https://www.jmp.com/es\\_pe/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html](https://www.jmp.com/es_pe/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html)

Schöpfer, L., Menzel, R., Schnepf, U., Ruess, L., Marhan, S., Brümmer, F., Pagel, H., & Kandeler, E. (2020). Microplastics Effects on Reproduction and Body Length of the Soil-Dwelling Nematode *Caenorhabditis elegans*. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00041>

Solomando, A., Capó, X., Alomar, C., Álvarez, E., Compa, M., Valencia, J. M., Pinya, S., Deudero, S., & Sureda, A. (2020). Long-term exposure to microplastics induces oxidative stress and a pro-inflammatory response in the gut of *Sparus aurata* Linnaeus, 1758. *Environmental Pollution*, 266, 115295. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115295>

Statista. (2020). *Producción anual de plástico en el mundo*. <https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico/>

- Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, *193*, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>
- Wang, J., Li, Y., Lu, L., Zheng, M., Zhang, X., Tian, H., Wang, W., & Ru, S. (2019). Polystyrene microplastics cause tissue damages, sex-specific reproductive disruption and transgenerational effects in marine medaka (*Oryzias melastigma*). *Environmental Pollution*, *254*, 113024. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.113024>
- Xiong, X., Tu, Y., Chen, X., Jiang, X., Shi, H., Wu, C., & Elser, J. J. (2019). Ingestion and egestion of polyethylene microplastics by goldfish (*Carassius auratus*): influence of color and morphological features. *Heliyon*, *5*(12), e03063. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03063>