



**UTPL**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**Evaluación del fosfato de ácido ascórbico (Vitamina C) como un factor importante en el diseño de dietas, crecimiento y sobrevivencia de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en su sistema de recambio acuícola (RAS), en la Estación Agropecuaria de la UTPL**

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de:

**BIÓLOGO**

**Autor:** Enríquez Prado, Guillermo Andrés

**Director:** Fernández Guarnizo, Jimmy Bladimir

LOJA

2024



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2024

## Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular

Loja, 27 de enero de 2024

Doctor

Darío Javier Cruz Sarmiento

**Director de la Carrera de Biología**

Ciudad.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Evaluación del fosfato de ácido ascórbico (Vitamina C) como un factor importante en el diseño de dietas, crecimiento y sobrevivencia de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en su sistema de recambio acuícola (RAS), en la Estación Agropecuaria de la UTPL realizado por Guillermo Andrés Enríquez Prado ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Mgtr. Jimmy Bladimir Fernández Guarnizo

C.I.: 1103630867

Correo electrónico: [jbfernandez2@utpl.edu.ec](mailto:jbfernandez2@utpl.edu.ec)

### **Declaración de autoría y cesión de derechos**

Yo, Guillermo Andrés Enríquez Prado, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Evaluación del fosfato de ácido ascórbico (Vitamina C) como un factor importante en el diseño de dietas, crecimiento y sobrevivencia de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en su sistema de recambio acuícola (RAS), en la Estación Agropecuaria de la UTPL, de la Carrera de Biología específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Marco Teórico, Metodología, Resultados, Discusión, Conclusiones y Recomendaciones en la tesis siendo Jimmy Bladimir Fernández Guarnizo, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Guillermo Andrés Enríquez Prado

C.I.: 1900484823

Correo electrónico: [gaenriquez2@utpl.edu.ec](mailto:gaenriquez2@utpl.edu.ec)

## **Dedicatoria**

Con sincero agradecimiento, dedico este logro a todos aquellos que, de diversas maneras, han sido arquitectos de mi crecimiento académico y personal. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en este camino, y este logro es también suyo. Su apoyo y orientación han sido la brújula que ha guiado mi travesía, y por ello, con gratitud profunda, comparto este éxito.

***Guillermo***

## **Agradecimiento**

A mis padres, y hermanos, quienes me brindaron su inquebrantable apoyo, amor y sabiduría a lo largo de este viaje académico. Su constante aliento fue mi motor y su ejemplo, mi inspiración. Agradezco infinitamente el sacrificio y dedicación que han demostrado, construyendo una base sólida para mi educación y crecimiento personal.

A mis estimados docentes, quienes han aportado significativamente a mi formación académica, les expreso mi profundo agradecimiento. Cada lección impartida, cada consejo compartido y cada desafío presentado han sido pilares esenciales en mi desarrollo.

A todos los que, de alguna manera, han sido parte fundamental de mi crecimiento académico y personal, les dedico este logro con humildad y gratitud. Este éxito es el fruto de las semillas que cada uno de ustedes ha sembrado en mi camino, y lo celebro con el corazón lleno de reconocimiento.

**Guillermo**

## Índice de contenido

Carátula .....	I
Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular .....	II
Declaración de autoría y cesión de derechos .....	III
Dedicatoria .....	V
Agradecimiento .....	VI
Índice de contenido .....	VII
Resumen.....	11
Abstract .....	12
Introducción .....	13
Capitulo uno.....	15
Marco Teórico .....	15
1.1 La acuicultura y la cría de la trucha arcoíris .....	15
1.2 Nutrición en la acuicultura .....	17
1.3 La Vitamina C en peces .....	18
1.3.1 Peces que sintetizan Vitamina C .....	18
1.3.2 Peces que dependen de dietas enriquecidas con Vitamina C .....	18
1.4 Sistema inmunológico de la trucha arcoíris .....	19
1.5 Crecimiento y supervivencia de <i>Oncorhynchus mykiss</i> .....	20
1.5.1 Crecimiento (biomasa) .....	20
1.5.2 Supervivencia .....	20
1.6 Suplementación de Vitamina C en la dieta de la trucha arcoíris y otros peces ..	21
1.7 Conversión alimenticia (FCA) .....	22
1.8 Impacto ambiental de la acuicultura.....	23
1.9 Sostenibilidad en la acuicultura .....	24
Capitulo dos .....	26
Metodología.....	26
2.1 Ubicación.....	26

<b>2.2</b>	<b>Infraestructura de sistemas de producción .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>Establecimiento y mantenimiento del cultivo de trucha .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Cálculo de la proporción de alimento y Vitamina C .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5</b>	<b>Evaluación del crecimiento .....</b>	<b>30</b>
<b>2.6</b>	<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>31</b>
	<b>Capítulo tres .....</b>	<b>32</b>
	<b>Resultados .....</b>	<b>32</b>
	<b>Capítulo cuatro.....</b>	<b>37</b>
	<b>Discusión.....</b>	<b>37</b>
	<b>Conclusiones .....</b>	<b>39</b>
	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>40</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>41</b>
	<b>Apéndices.....</b>	<b>46</b>
	<b>Apéndice A.</b> Optimización del sistema RAS en cuanto a la distribución de agua y recirculación.....	<b>46</b>
	<b>Apéndice B.</b> Implementación y ajuste de un filtro mecánico (gravilla) en el punto de captación de agua del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL. ....	<b>46</b>
	<b>Apéndice C.</b> Limpieza y desinfección de los tanques de producción acuícola dentro del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL. ....	<b>47</b>
	<b>Apéndice D.</b> Configuración del temporizador en el sistema RAS para mejorar la oxigenación y el bombeo eficiente de agua.....	<b>47</b>
	<b>Apéndice E.</b> <i>Aclimatación de alevines de trucha arcoíris en las piscinas del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.....</i>	<b>47</b>
	<b>Apéndice F.</b> <i>Fosfato de ácido ascórbico al 98% de pureza en forma de vitamina C .....</i>	<b>48</b>
	<b>Apéndice G.</b> <i>Medición del peso de la vitamina C, en la forma de fosfato de ácido ascórbico, utilizando una balanza de alta precisión en los laboratorios de la UTPL .....</i>	<b>48</b>
	<b>Apéndice H.</b> <i>Monitoreo y control del peso de los alevines durante las primeras semanas del proyecto en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL .....</i>	<b>49</b>

<b>Apéndice I.</b> Registro de parámetros del agua, como temperatura y porcentaje de oxígeno disuelto, en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>49</b>
<b>Apéndice J.</b> Registro y control de medidas ante la presencia de un ejemplar muerto de trucha arcoíris.....	<b>50</b>
<b>Apéndice K.</b> Alevines de trucha arcoíris de la misma edad, provenientes de tanques distintos y suplementados con diferentes dosis de vitamina C.....	<b>50</b>
<b>Apéndice L.</b> Supervisión de alevines: captura de ejemplares para realizar pesajes y calcular la conversión alimenticia.....	<b>51</b>
<b>Apéndice M.</b> Trucha arcoíris en fase juvenil, alojada en los estanques del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>51</b>
<b>Apéndice N.</b> Pesaje de alevines, realizado aproximadamente a las seis semanas de su permanencia en el sistema, como parte de la implementación del proyecto en un sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>52</b>
<b>Apéndice O.</b> Implementación de válvulas check en el sistema RAS, facilitando el flujo unidireccional del agua en la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>53</b>
<b>Apéndice P.</b> Limpieza y sifoneo de fondo de los tanques de producción acuícola del sistema RAS de la Estación Agropecuaria de UTPL.....	<b>53</b>
<b>Apéndice Q.</b> Limpieza y mantenimiento de los filtros mecánicos y biológicos en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>54</b>
<b>Apéndice R.</b> Seguimiento y pesaje de juveniles en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>54</b>
<b>Apéndice S.</b> Ejemplar de trucha arcoíris con aproximadamente 8 semanas de crecimiento en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.....	<b>55</b>

### Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Lineamientos de alimentación para la trucha arco-íris .....	<b>30</b>
<b>Tabla 2</b> Pruebas de supuestos y diferencia de medias entre tratamientos .....	<b>33</b>

<b>Tabla 3 Prueba de Dunn para el crecimiento entre los tratamientos .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 4 Prueba de Dunn para el crecimiento entre los tratamientos .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 5. Prueba de Tukey comparacion de tratamientos .....</b>	<b>35</b>

### **Índice de figuras**

<b>Figura 1 Sistema RAS utilizado el cultivo de trucha en la Estación Agropecuaria UTPL.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 2 Crecimiento en biomasa de O. mykiss a diferentes concentraciones de Vitamina C ..</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3 Mortalidad de O. mykiss em los tratamientos. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 4 Crecimiento en longitud de O. mykiss en los tratamientos .....</b>	<b>35</b>

## Resumen

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) desempeña un papel vital en la acuicultura, siendo esencial para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria global. La comprensión de factores nutricionales, especialmente la Vitamina C, es crucial para garantizar su óptimo crecimiento y salud en cautiverio. Este estudio se centra en evaluar el impacto de tres dosis de Vitamina C (300mg/Kg, 900mg/Kg y 1500mg/Kg) y un tratamiento control en la dieta de la trucha arcoíris en un sistema de recambio acuícola. Los resultados revelan que la inclusión de 900mg/Kg de Vitamina C mejoran el desarrollo de las truchas, expresado en crecimiento y supervivencia. Este efecto positivo se atribuye a las características del metabolismo del salmónido y al aporte beneficioso del ácido ascórbico a su sistema. Además, este estudio no solo resalta la importancia de la Vitamina C como factor nutricional clave, sino que también contribuye a la comprensión más amplia de las prácticas de alimentación sostenible en la acuicultura.

*Palabras clave:* Salmónido, desarrollo, alimentación.

### **Abstract**

The rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) plays a vital role in aquaculture, being essential for food production and global food security. Understanding nutritional factors, especially Vitamin C, is crucial to ensure optimal growth and health in captivity. This study focuses on evaluating the impact of three doses of Vitamin C (300mg/Kg, 900mg/Kg, and 1500mg/Kg) and a control treatment in the diet of rainbow trout in a recirculating aquaculture system. The results reveal that the inclusion of 900mg/Kg of Vitamin C improves the development of trout, as expressed in growth and survival. This positive effect is attributed to the characteristics of salmonid metabolism and the beneficial contribution of ascorbic acid to their system. Furthermore, this study not only highlights the importance of Vitamin C as a key nutritional factor but also contributes to a broader understanding of sustainable feeding practices in aquaculture

*Keywords:* Salmonid, development, feeding

## Introducción

La acuicultura desempeña un papel trascendental en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria global, y entre las especies cultivadas de manera extensa, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) destaca como un recurso invaluable. Para asegurar su óptimo crecimiento y su salud en cautiverio, es imperativo comprender a fondo los factores nutricionales que impactan en su desarrollo (Villalva, 2018). Uno de estos elementos clave es la Vitamina C, conocida también como ácido ascórbico.

La Vitamina C es un nutriente esencial para los organismos acuáticos, desempeñando un papel crucial en diversos procesos fisiológicos y metabólicos. Diversos estudios científicos han demostrado la importancia de la Vitamina C en el crecimiento y la supervivencia de peces cultivados, incluyendo la trucha arcoíris (Blanco, 1985).

Por ejemplo, Harsij et al. (2020) demostraron que la suplementación de Vitamina C en la dieta de la trucha arcoíris mejoró significativamente el crecimiento de los peces, anifestándose en una mayor tasa de crecimiento y una eficiente conversión alimenticia en aquellos alimentados con una dieta enriquecida con Vitamina C. Además de su impacto en el crecimiento, la Vitamina C también desempeña un papel fundamental en el sistema inmunológico de los peces. Un estudio llevado a cabo por Crespo Guerrero et al. (2021), que mostró una mejora la respuesta inmunológica de los peces frente a enfermedades y estrés ambiental.

La deficiencia de ácido ascórbico puede generar consecuencias adversas, como deformidades estructurales, anormalidades oculares, pigmentación abdominal excesiva, y una disminución en la eficiencia reproductiva y la rapidez de recuperación de heridas (Blanco, 1985). Es importante señalar que, a lo largo de la evolución, muchos organismos, incluidos los peces teleósteos, han perdido la capacidad de sintetizar ácido ascórbico debido a la ausencia de la enzima L-gulonolactona oxidasa (Trucha, 2018), haciendo esencial la suplementación alimenticia de vitamina C en ciertos casos (Juan Olazábal et al., 2019).

En este contexto, la evaluación del fosfato de ácido ascórbico como un factor clave en el diseño de dietas para la trucha arcoíris en un sistema de recirculación de agua (RAS) se

vuelve crucial. Los sistemas de recirculación de agua en acuicultura ofrecen ventajas en términos de control de calidad del agua y eficiencia en el uso de recursos, convirtiéndolos en una opción atractiva para el cultivo de trucha arcoíris (García & Sánchez, 2015).

Por ende, el propósito de este estudio es evaluar el efecto de tratamientos de vitamina C en forma de fosfato de ácido ascórbico a diferentes concentraciones en el desarrollo de *Oncorhynchus mykiss* en un sistema de recirculación de agua en la Estación Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Se comparará el crecimiento y la supervivencia de los individuos de trucha arcoíris sometidos a diferentes tratamientos y concentraciones de Vitamina C.

Los resultados obtenidos de esta investigación proporcionarán información relevante sobre la importancia de la Vitamina C en la formulación de dietas, el crecimiento y la supervivencia de la trucha arcoíris en un sistema de recirculación de agua y proporcionarán información relevante para optimizar las prácticas de alimentación y manejo en la acuicultura. Estos hallazgos contribuyendo a la producción sostenible de trucha arcoíris, fortaleciendo así la seguridad alimentaria en la región.

## **Capítulo uno**

### **Marco Teórico**

#### **1.1 La acuicultura y la cría de la trucha arcoíris**

La acuicultura, o la crianza de organismos acuáticos en ambientes controlados, ha emergido como una respuesta crucial a la creciente demanda mundial de productos pesqueros. Este método de producción de alimentos acuícolas ha ganado relevancia debido a su capacidad para abordar la sobreexplotación de los recursos pesqueros naturales y contribuir a la seguridad alimentaria global (Berger, 2020). Dentro del vasto espectro de la acuicultura, la cría de trucha arcoíris se destaca como una práctica significativa y sostenible (Mora et al., 2009).

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es una especie salmoniforme nativa de América del Norte y Asia. Su versatilidad y adaptabilidad la convierten en una elección preferida para la acuicultura en todo el mundo. La cría de trucha arcoíris no solo es apreciada por su carne de buen sabor y nutritiva, sino también por su rápida tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades y capacidad para prosperar en diversas condiciones de agua (Abad Godoy, 2015).

La cría de trucha arcoíris desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria al proporcionar una fuente confiable y sostenible de proteínas de alta calidad (Echeverría, 2023). Dado que la demanda de productos pesqueros continúa aumentando con el crecimiento de la población mundial, la trucha arcoíris emerge como una solución eficaz para satisfacer este aumento en la demanda. Además de su valor nutricional, la cría de trucha arcoíris también contribuye a la generación de empleo en las comunidades locales, fortaleciendo así las economías regionales (Berger, 2020). La producción controlada de trucha arcoíris permite minimizar la presión sobre las poblaciones salvajes y conservar los ecosistemas acuáticos naturales al tiempo que se suministran alimentos saludables y accesibles a la sociedad (García-Mondragón et al., 2013).

#### **1.2 Sistemas de Recirculación Acuícolas (RAS)**

Los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS) son métodos avanzados de acuicultura diseñados para optimizar el uso del agua y mejorar la sostenibilidad de la producción de peces (Ciriminna et al., 2021). Estos sistemas funcionan mediante la recirculación y purificación del agua, permitiendo que se reutilice en lugar de descartarse, lo que reduce significativamente la necesidad de grandes volúmenes de agua en comparación con los métodos tradicionales de acuicultura. Según Machaca Pampa (2023) el sistema RAS se compone de varios equipos, que se detallan a continuación:

- *Tanques de cultivo*: Los peces se crían en tanques cerrados o estanques con control preciso de condiciones ambientales como temperatura, oxígeno y luz. Los desechos de los peces, como heces y restos de alimentos no consumidos, se acumulan en el agua.

- *Filtración mecánica*: El agua contaminada pasa a través de sistemas de filtración mecánica para eliminar partículas sólidas y residuos. Esto puede incluir tamices, sedimentadores y dispositivos de filtración de sólidos suspendidos.

- *Filtración biológica*: El agua pasa por filtros biológicos donde bacterias beneficiosas convierten los compuestos de amonio y nitrito en nitrato, menos tóxico. Estas bacterias juegan un papel crucial en el ciclo del nitrógeno.

- *Desgasificación y oxigenación*: se controla la concentración de oxígeno mediante desgasificación para eliminar gases no deseados y la oxigenación para mantener niveles adecuados.

- *Control automatizado* : Los sistemas ras suelen contar con monitoreo y control automatizado de parámetros como temperatura, ph, oxígeno y niveles de nutrientes.

- *Recirculación de agua* : El agua tratada se devuelve al tanque de cultivo, cerrando el ciclo y reduciendo la dependencia de agua nueva.

Un RAS ofrece una serie de ventajas significativas en términos de sostenibilidad, eficiencia y control de calidad del agua en la acuicultura. En primer lugar, desde una perspectiva de sostenibilidad, el RAS destaca al minimizar el impacto ambiental de la acuicultura. Este sistema reduce la dependencia de grandes cantidades de agua al recircular y purificar continuamente el agua dentro del sistema, disminuyendo así la necesidad de

utilizar grandes volúmenes de agua y mitigando el riesgo de contaminación ambiental (Machaca Pampa, 2023).

La eficiencia es otra ventaja clave del sistema RAS. Permite un uso más preciso y eficiente de los recursos, ya que controla y optimiza factores críticos como la temperatura, la oxigenación y la calidad del agua. Al mantener estas condiciones en niveles ideales para los organismos acuáticos cultivados, se logra un crecimiento más rápido y saludable, reduciendo el tiempo necesario para la producción y mejorando la eficiencia general del proceso (Forero & Ruiz, 2020).

En términos de control de calidad del agua, el RAS ofrece una gestión meticulosa. Este sistema utiliza tecnologías avanzadas de filtración y tratamiento para mantener la calidad del agua en niveles óptimos. El monitoreo constante y la capacidad de ajustar parámetros como la concentración de oxígeno y la eliminación de desechos contribuyen a crear un ambiente acuático propicio para el crecimiento de los organismos cultivados. Esto no solo mejora la salud de los animales acuáticos, sino que también previene la propagación de enfermedades y reduce el riesgo de contaminación (Betanzo et al., 2022).

### **1.3 Nutrición en la acuicultura**

El estudio de los requerimientos nutricionales de especies de interés comercial es imprescindible para establecer dietas específicas que aseguren una mejor eficiencia en el crecimiento y resistencia a patógenos de los peces. Así el uso de determinados nutrientes y suplementos permite un mejoramiento en la salud y un mayor aprovechamiento de alimentos (Asencio alcudia, 2021).

La dieta alimenticia de peces se compone de proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas, necesarios para el desarrollo de sus órganos y tejidos, y para un adecuado crecimiento. Las proteínas en la dieta de la trucha arcoíris deben encontrarse entre un 40 a 60%, pues son primordiales en la formación de sus órganos, siendo de preferencia que estas sean de origen animal (Alanes Oña, 2020). Los carbohidratos si bien son empleados como fuente de energía, son pobremente asimilados, por lo que deben

comprender entre el 9 al 12% de la dieta. Los lípidos ocupan entre el 8 al 10%, pues también constituyen una fuente de energía. Los minerales como fósforo, magnesio, zinc, manganeso, entre otros, son fundamentales en la formación de huesos y sangre, y en la dieta deben encontrarse en un 2%. Las vitaminas como Vitamina A, D, E, C, Tiamina, Piridoxina, y demás, son esenciales para el correcto crecimiento de la trucha, además de cumplir un papel fundamental en el sistema inmune para evitar enfermedades (Trucha, 2018).

#### **1.4 La Vitamina C en peces**

La vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, es esencial para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de la salud en muchos organismos, incluyendo los peces. Sin embargo, la capacidad de diferentes especies de peces para sintetizar vitamina C varía significativamente. Algunos peces tienen la capacidad de producir su propia vitamina C, mientras que otros dependen completamente de obtenerla a través de su (Juan Olazábal et al., 2019).

##### **1.4.1 Peces que sintetizan Vitamina C**

Algunas especies de peces tienen la capacidad de sintetizar vitamina C en sus propios cuerpos. Esto significa que pueden producir esta vitamina a partir de sustancias precursoras presentes en su metabolismo. Estos peces son capaces de ajustar la producción de vitamina C en respuesta a las necesidades de su organismo y las condiciones ambientales (As & Landines, 2009).

##### **1.4.2 Peces que dependen de dietas enriquecidas con Vitamina C**

Por otro lado, hay especies de peces que no pueden sintetizar Vitamina C y, por lo tanto, deben obtenerla a través de su alimentación. Estos peces dependen de fuentes externas, como alimentos que contienen vitamina C, para satisfacer sus requerimientos nutricionales (Velasco et al., 2019). Entre estos peces se encuentran especies de salmónidos de aguas frías como la trucha arcoíris y también peces tropicales de importancia comercial a nivel mundial como la tilapia roja (Olaya, 2021).

La vitamina C desempeña varias funciones cruciales en los peces, independientemente de su capacidad para sintetizarla. Estas funciones incluyen la síntesis

de colágeno, que es fundamental para la estructura y función de los tejidos conectivos, y la participación en procesos antioxidantes que protegen a los peces del estrés oxidativo (Campos et al., 2020).

Los requerimientos específicos de vitamina C pueden variar entre especies de peces debido a diferencias en su fisiología, dieta natural y entorno. Algunas especies pueden necesitar mayores cantidades de vitamina C debido a factores como el estrés ambiental, el crecimiento rápido o la reproducción (Velasco et al., 2019)

### **1.5 Sistema inmunológico de la trucha arcoíris**

La trucha arcoíris, como otras especies acuícolas, puede enfrentar desafíos relacionados con enfermedades en entornos de cultivo. Algunas enfermedades comunes que afectan a la trucha arcoíris incluyen infecciones bacterianas, virales y parasitarias. Estas enfermedades pueden tener un impacto significativo en la salud de los peces y la productividad de las operaciones acuícolas (Velarde, 2022).

Una estrategia clave para gestionar estas enfermedades en la acuicultura es fortalecer el sistema inmunológico de los peces. La vitamina C juega un papel crucial en este contexto. Se ha demostrado que la vitamina C mejora la respuesta inmunológica de los peces, aumentando su resistencia a las infecciones y enfermedades. Además, esta vitamina actúa como un antioxidante, ayudando a neutralizar los radicales libres y protegiendo las células del daño oxidativo (Harsij et al., 2020). En el caso específico de la trucha arcoíris, la vitamina C se ha utilizado en la alimentación como un suplemento para fortalecer su sistema inmunológico. La administración adecuada de vitamina C en la dieta de estos peces puede contribuir a reducir la incidencia y la gravedad de algunas enfermedades, así como a mejorar la recuperación después de un episodio de enfermedad (Olaya, 2021) .

Entre las enfermedades que pueden afectar a la trucha arcoíris, se encuentran el columnaris, causada por la bacteria *Flavobacterium columnare*; la enfermedad de la boca y la aleta, causada por el hongo *Saprolegnia* sp.; y la necrosis hemorrágica, causada por el virus de la necrosis hematopoyética. Estas condiciones pueden afectar la piel, las branquias y otros órganos de los peces, comprometiendo su salud y rendimiento. Al fortalecer el sistema

inmunológico de la trucha arcoíris mediante la suplementación de vitamina C, se pueden mejorar las defensas naturales de los peces contra estas enfermedades. Sin embargo, es importante destacar que la gestión integral de la salud acuícola implica prácticas adecuadas de manejo, monitoreo regular de la salud de los peces y medidas preventivas, además de la suplementación nutricional (Tavara, 2019).

## **1.6 Crecimiento y supervivencia de *Oncorhynchus mykiss***

En el estudio de especies acuáticas como la trucha, el crecimiento en biomasa y la supervivencia son dos variables clave que se evalúan para comprender el rendimiento y la salud de la población.

### **1.6.1 Crecimiento (biomasa)**

El crecimiento en biomasa hace referencia al aumento en la masa o longitud total de organismos en un sistema acuático en un período de tiempo determinado, como efecto de procesos osmóticos, químicos y a factores que aportan material al organismo (Villalva, 2018).

La misma puede medirse de varias maneras, incluyendo el pesaje directo de muestras de población, estimación a partir de mediciones de longitud y peso, o mediante tecnologías más avanzadas como el uso de ecuaciones de crecimiento específicas para la especie. Parámetros como la calidad del agua, la disponibilidad de alimentos, la densidad de población y la temperatura pueden influir significativamente en el crecimiento de la biomasa (Seminario Cunya, 2022).

### **1.6.2 Supervivencia**

La supervivencia se refiere a la proporción de individuos que permanecen vivos en la población durante un período de tiempo determinado (Ancco, 2023).

La supervivencia se mide típicamente como un porcentaje del número inicial de individuos en la población que siguen vivos después de un período de tiempo específico. Esto implica el seguimiento y el recuento de individuos a lo largo del tiempo. La calidad del hábitat, la presencia de depredadores, enfermedades y otros factores ambientales pueden afectar la supervivencia (Leal, 2017). Además, las prácticas de manejo, como la densidad de siembra y la salud general de los peces, también son importantes. La monitorización regular de ambas

variables es esencial para ajustar las prácticas de manejo y mantener un ambiente saludable para la población de truchas (Velarde, 2022)

En estudios acuícolas, se utilizan técnicas estadísticas y modelos matemáticos para analizar y prever el crecimiento y la supervivencia de las poblaciones.

El análisis estadístico de las variables de crecimiento de biomasa y supervivencia en el estudio de truchas (o cualquier especie acuática) implica el uso de diversas técnicas estadísticas para entender las relaciones, identificar patrones y tomar decisiones informadas sobre la gestión de las poblaciones. Aquí hay algunas herramientas y enfoques comunes: Pruebas t-Student o Análisis de Varianza (ANOVA): Pueden utilizarse para comparar medias de grupos, por ejemplo, para determinar si hay diferencias significativas en el crecimiento de biomasa o la supervivencia entre diferentes tratamientos o condiciones (Yu et al., 2022).

### **1.7 Suplementación de Vitamina C en la dieta de la trucha arcoíris y otros peces**

La Vitamina C o ácido ascórbico es indispensable en muchos procesos metabólicos que ocurren dentro de los organismos. Como la síntesis de colágeno, desintoxicación, absorción de compuestos metálicos y protección de membranas celulares (Alanes Oña, 2020).

Sin embargo, en el transcurso de la evolución, algunas especies de aves, reptiles, anfibios y peces se han vuelto incapaces de sintetizar esta vitamina, lo que ha conllevado al desarrollo de malformaciones y afectando el crecimiento y el sistema inmune (As & Landines, 2009)

Por ello, varios estudios se han enfocado en suplementar dietas con Vitamina C, para garantizar su salud y rendimiento óptimos de peces. Así en *Astronotus ocellatus*, se ha reportado que una dosis de 25 mg/kg fue suficiente para evitar disminución en el crecimiento y el desarrollo de escorbuto (Velasco Garzón et al. 2019).

La adición de vitamina C y E en la dieta de tilapias demostró un aumento en la masa de los individuos en etapa juvenil, además de lograr altas tasas de supervivencia en cautiverio (Olaya, 2021).

En otras especies como *Paralichthys olivaceus*, *Cyprinus carpio*, *Lateolabrax japonicus*, *Sebastes schlegeli*, la adición de ácido ascórbico en la alimentación mejoró el crecimiento y contribuyó en la prevención de enfermedades, mientras que la dieta control, sin adición de vitamina C, el crecimiento fue menor que los peces alimentados con vitamina C (As & Landines, 2009).

En *Oncorhynchus mykiss*, la vitamina C resulta indispensable. ya que este carece de la capacidad de sintetizarla. Por ello se ha demostrado que la elaboración de un pienso suplementado con vitamina C ha elevado la expresión de genes asociados a la respuesta inmune de los individuos frente al virus de la septicemia hemorrágica viral (VHSV) (Tavara, 2019). Así mismo, Blanco, 1987 menciona que un mínimo de 200 mg/kg de vitamina C en la dieta de truchas es conveniente para el crecimiento de esta especie.

### **1.8 Conversión alimenticia (FCA)**

La Conversión Alimenticia (FCA), es un indicador clave en la acuicultura y en la producción animal en general. Se utiliza para medir la eficiencia con la que los animales convierten los alimentos que consumen en peso corporal. En el contexto de la acuicultura, la FCA es un parámetro esencial para evaluar el rendimiento de la producción. La fórmula básica para calcular la Conversión Alimenticia es:

$$FCA = \text{Cantidad total de alimento suministrado} / \text{Ganancia en biomasa}$$

Donde:

**Cantidad total de alimento suministrado:** La cantidad total de alimento que se suministra a los peces durante un período determinado.

**Ganancia en biomasa:** La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los peces en el mismo período.

La FCA se expresa comúnmente como una relación, por ejemplo, 2:1 o 1.5:1. Cuanto menor sea el valor de la FCA, más eficiente será la conversión de alimento, ya que indica que se necesitan menos unidades de alimento para producir una unidad de peso corporal en los peces.

Para su interpretación hay que tener en cuenta que una FCA baja indica una buena eficiencia en la conversión de alimento, lo que es deseable en la producción acuícola. Mientras que una FCA más alta indica una menor eficiencia y puede sugerir que se está utilizando más alimento para lograr el mismo aumento de peso (Vargas, 2023).

### **1.9 Impacto ambiental de la acuicultura**

La acuicultura, o cultivo de organismos acuáticos como peces, moluscos y crustáceos, ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas para satisfacer la creciente demanda global de productos del mar. Sin embargo, al igual que otras formas de producción de alimentos, la acuicultura puede tener impactos ambientales tanto locales como globales (Peña, 2020). Algunas de las preocupaciones ambientales asociadas con la acuicultura incluyen la contaminación del agua, la introducción de especies exóticas, la alteración de los hábitats costeros y la demanda de piensos que provienen de la pesca de captura. La acuicultura también puede contribuir a la pérdida de biodiversidad y generar emisiones de gases de efecto invernadero (Santana, 2023)

Uno de los enfoques para abordar estos problemas ambientales es mediante la implementación de sistemas de recirculación acuícola (RAS) (García et al. 2015). Estos sistemas están diseñados para minimizar la dependencia del intercambio de agua con el entorno, lo que ayuda a reducir el uso de agua y limitar la liberación de nutrientes y contaminantes. Los RAS reciclan y purifican el agua, reduciendo significativamente la necesidad de descargar grandes volúmenes de agua y minimizando así el impacto en los cuerpos de agua locales (Peña, 2020).

En los sistemas convencionales, los excrementos y los restos de alimentos pueden contribuir a la acumulación de nutrientes en el agua, lo que puede dar lugar a problemas como la proliferación de algas y la hipoxia. Los RAS incluyen procesos de filtración y tratamiento que permiten la recuperación de nutrientes valiosos, como el nitrógeno y el fósforo, para ser reutilizados en el sistema o eliminados de manera más controlada (Machaca Pampa, 2023).

Al limitar la descarga de agua al entorno, los RAS reducen el riesgo de contaminar cuerpos de agua con productos químicos utilizados en la acuicultura, como medicamentos y

productos antimicrobianos. Además, al proporcionar un entorno más controlado, los RAS pueden ayudar a prevenir la propagación de enfermedades entre los organismos cultivados, reduciendo la necesidad de utilizar productos químicos para el control de enfermedades (Machaca Pampa, 2023). La acuicultura convencional a menudo depende de piensos que provienen de la pesca de captura, lo que puede tener implicaciones para la sostenibilidad de las poblaciones de peces salvajes. Los RAS permiten un mayor control sobre la alimentación, contribuyendo a la reducción de la dependencia de ingredientes de origen marino en los piensos (Betanzo et al., 2022).

Aunque los RAS ofrecen numerosos beneficios ambientales, también es importante señalar que su implementación puede requerir una mayor inversión inicial y un manejo técnico más avanzado en comparación con los sistemas de acuicultura convencionales. Además, es esencial considerar la fuente de energía utilizada para alimentar los RAS, ya que la huella ambiental total del sistema también depende de la sostenibilidad de la energía utilizada (García et al, 2015).

### **1.9.1 Sostenibilidad en la acuicultura**

La sostenibilidad en la acuicultura es esencial para garantizar la viabilidad a largo plazo de esta industria y mitigar sus impactos ambientales. La conservación de recursos, la eficiencia en el uso de alimentos y la reducción de residuos son factores clave en este contexto. En particular, la producción sostenible de trucha arcoíris destaca por la optimización de la nutrición y la suplementación de vitaminas (Ariza et al. 2019).

La conservación de recursos es fundamental para preservar los ecosistemas acuáticos y garantizar la disponibilidad de materias primas. En la acuicultura, la eficiencia en el uso de alimentos desempeña un papel crucial. Optimizar las fórmulas de alimentos para maximizar la conversión de alimentos en biomasa reduce la presión sobre las poblaciones de peces salvajes utilizadas para la elaboración de piensos (Berger, 2020).

Además, la reducción de residuos es esencial para minimizar el impacto ambiental de la acuicultura. La gestión eficiente de los desechos, como los excrementos de los peces, es crucial para prevenir la contaminación del agua y mantener la calidad ambiental. En este

sentido, los sistemas de recirculación acuícola (RAS) pueden ser beneficiosos al reciclar y purificar el agua, reduciendo así la necesidad de descargar grandes volúmenes al entorno (Crespo Guerrero et al. 2021).

La optimización de la nutrición es clave para la sostenibilidad en la producción de trucha arcoíris. A través de la formulación precisa de los piensos, se puede mejorar la eficiencia en la conversión alimenticia y reducir la dependencia de ingredientes provenientes de la pesca de captura, contribuyendo así a la conservación de recursos marinos. La inclusión de ingredientes alternativos y sostenibles, como proteínas vegetales, también juega un papel importante en la mitigación de la presión sobre los ecosistemas acuáticos (Ariza & Mujica Rodriguez, 2019).

La suplementación de vitaminas en la dieta de la trucha arcoíris es otra estrategia para optimizar el rendimiento y mejorar la salud de los peces. Esto puede conducir a una mejor resistencia a enfermedades, reduciendo la necesidad de tratamientos químicos y promoviendo así la sostenibilidad de la producción acuícola (García-Mondragón et al., 2013).

## Capítulo dos

### Metodología

#### 2.1 Ubicación

La investigación se llevó a cabo en la Estación Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja, ubicada en el sector de Cajanuma, al sur de la ciudad de Loja, Ecuador. Esta localización geográfica, caracterizada por un clima que oscila entre los 12 y 18 grados centígrados, y una altitud de 2300 metros sobre el nivel del mar, se revela como un habitat propicio para la cría y cultivo de truchas de manera semi intensiva.

La elección específica de esta área de estudio se fundamenta en su destacada capacidad para la crianza de truchas en condiciones controladas, contribuyendo así al avance del conocimiento en acuicultura. La infraestructura de investigación consistió en la implementación de un sistema de recirculación de agua en piscinas de fibra de vidrio acondicionadas. Este sistema no solo que proporcionó un entorno óptimo para el desarrollo y monitoreo de los individuos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), sino que también representó un aporte significativo al campo, al establecer un modelo innovador para la producción sostenible de esta especie.

El diseño de investigación se enfocó en evaluar el efecto de la alimentación suplementada con Vitamina C en el desarrollo de la trucha arcoíris, aprovechando la infraestructura especializada de la Estación Agropecuaria y generando valiosas contribuciones al avance de la acuicultura.

#### 2.2 Infraestructura de sistemas de producción

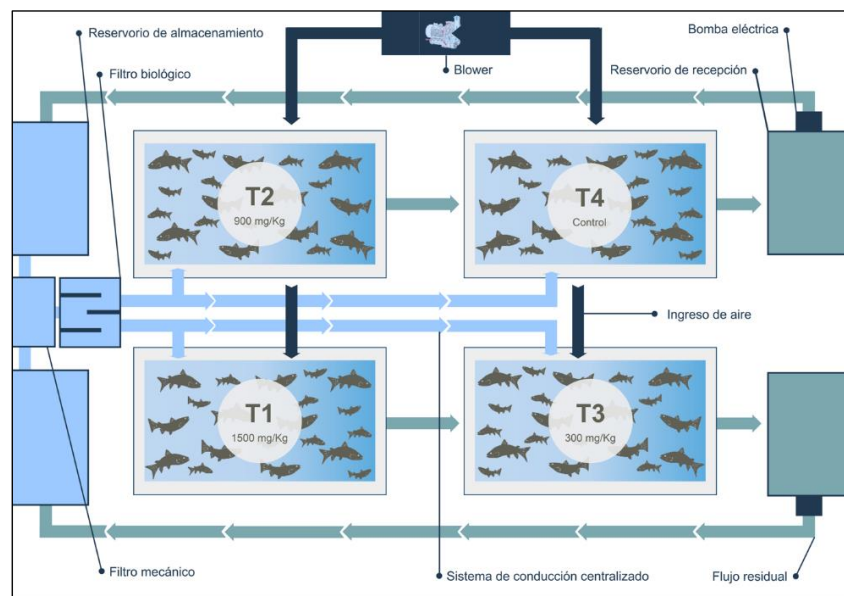
La Estación Agropecuaria de la Universidad Técnica Particular de Loja cuenta con un avanzado sistema de producción piscícola de tipo RAS (Recirculating Aquaculture System), compuesto principalmente por cuatro piscinas de fibra de vidrio, cada una con una capacidad de 3500 litros (figura 1). Este sistema se complementa con cuatro tanques adicionales que actúan como reservorios de agua, dos bombas eléctricas de 1/2 hp, implementadas para facilitar la recirculación del agua, garantizando así un ciclo de producción continuo y

sostenible. Así mismo, se incorpora un aireador (soplador/blower) encargado de generar una corriente de aire a presión al sistema.

Con el fin de potenciar la eficiencia del sistema, se llevaron a cabo diversas mejoras, destacando la implementación de un filtro biológico diseñado para optimizar la calidad del agua. Este componente desempeña un papel crucial en el proceso, mejorando la calidad del agua tanto en la entrada desde la fuente original como durante su recirculación a las piscinas. Además, se llevaron a cabo diversas adaptaciones, que incluyen mejoras en la conducción y distribución del agua. Se implementó un sistema de conducción centralizado que reemplazó un sistema anterior de alimentación de agua en paralelo por una distribución en serie para cada piscina. Esta modificación estartégica permitió una distribución más eficiente del recurso hídrico en todas las piscinas, optimizando el así el rendimiento global del sistema de producción (figura 1).

**Figura 1**

*Sistema RAS utilizado el cultivo de trucha en la Estación Agropecuaria UTPL*



*Nota.* T1: Vitamina C 1500mg/Kg de alimento. T2: Vitamina C 900mg/Kg de alimento. T3: Vitamina C 300mg/Kg de alimento. T4: Control, sin incorporación de Vitamina C

### **2.3 Establecimiento y mantenimiento del cultivo de trucha**

Durante la fase de campo de la propuesta de titulación, se adquirieron 600 alevines, divididos en cuatro grupos de tratamiento, con 150 peces por piscina. Previo a su liberación en las piscinas, los alevines fueron sometidos a una fase crucial de pre-aclimatación para prevenir la mortalidad debido a posibles shocks térmicos. Este proceso permitió a los alevines adaptarse gradualmente a las condiciones del sistema de producción, facilitando una transición sin contratiempos a su nuevo entorno.

La distribución equitativamente de los alevines en las cuatro piscinas se realizó, asignando a una de las diferentes concentraciones de fosfato de ácido ascórbico en su dieta. La administración de la vitamina C se llevó mediante su incorporación al alimento balanceado, utilizando un fijador para asegurar una unión efectiva..

El tamaño de las partículas de alimento se ajustó según el peso y tamaño de las truchas, guiado por referencias bibliográficas y mediciones de peso, biomasa y eficiencia de conversión alimenticia. Se estableció un programa específico de alimentación, basado en la temperatura del agua y el peso de los peces en cada grupo, para optimizar la ingesta de alimentos según las necesidades cambiantes durante su crecimiento. Los horarios y la frecuencia de alimentación se rigieron por un programa específico. Este enfoque permitió optimizar la alimentación de las truchas de acuerdo a sus necesidades en constante cambio durante su período de crecimiento.

En caso de mortalidad, se llevó un registro diario detallado y se procedió a la eliminación de los peces muertos con cuidado para minimizar impactos en la calidad del agua. Este seguimiento diario fue esencial para el control y gestión de la biomasa en cada piscina, asegurando cálculos precisos para la alimentación y un enfoque efectivo en cada tratamiento.

Para mantener un ambiente acuático óptimo, se implementaron procedimientos regulares de mantenimiento, incluyendo recambios de agua y limpieza del fondo mediante sifoneo. Los recambios periódicos contribuyeron a estabilizar la calidad del agua, eliminando contaminantes acumulados y restableciendo niveles adecuados de oxígeno y nutrientes. La

limpieza del fondo mediante sifoneo desempeñó un papel crucial en la eliminación de residuos orgánicos y sedimentación, asegurando un entorno saludable para las truchas..

Los recambios de agua se llevaron a cabo periódicamente para renovar el agua en las piscinas. Estos recambios contribuyeron a la estabilidad de la calidad del agua al eliminar los contaminantes acumulados y restablecer los niveles adecuados de oxígeno esencial para el crecimiento de las truchas arcoíris.

Además de estas prácticas, se establecieron protocolos específicos para el manejo de la biomasa y la remoción de peces fallecidos, fortaleciendo las condiciones óptimas en cada piscina. Estos procedimientos garantizaron un ambiente controlado y saludable, respaldando la eficacia y sostenibilidad de la producción acuícola en el sistema de recirculación.

#### **2.4 Cálculo de la proporción de alimento y Vitamina C**

Para determinar la cantidad de alimento necesario para cada estanque, se empleó una tabla de alimentación para trucha (Tabla 1), que relaciona la biomasa del tanque con el número total de peces. Se multiplicó este resultado por una constante específica basada en la temperatura media del agua, obteniendo así la cantidad de alimento para cada estanque mediante la fórmula:

$$CA = Bm \times C$$

Donde:

- *Bm* representa la biomasa del tanque
- *C* representa la constante de la tabla

Los valores resultantes de alimentación se utilizaron para calcular la cantidad de Vitamina C suplementada en los diferentes experimentos, excluyendo el grupo de control. La fórmula utilizada para determinar la cantidad de Vitamina C (*X*) a agregar a un peso específico de balanceado (*P*), conocida la proporción de Vitamina C en el balanceado original (*R*), se expresa como:

$$X = R \times P / 1000$$

Donde:

- $R$  es la cantidad de Vitamina C en miligramos por cada 1000 gramos de balanceado original.
- $P$  es el peso del balanceado al que se desea agregar la Vitamina C.
- $X$  es la cantidad de Vitamina C que se necesita agregar en miligramos.

**Tabla 1**

Talla cm	Peso gr	Temperatura del agua °C		
		13	14	15
2.50	0.20	6.80	7.40	8.00
3.00	0.40	6.40	7.00	7.60
3.50	0.60	6.05	6.60	7.15
3.75	0.70	5.70	6.20	6.70
4.00	0.80	5.40	5.90	6.40
4.25	0.90	5.15	5.60	6.05
4.50	1.10	4.85	5.60	5.75
5.00	1.50	4.60	5.30	5.40
5.25	1.80	4.30	5.00	5.10
5.50	2.10	4.10	4.70	4.90
6.00	2.80	3.85	4.50	4.55
6.50	3.70	3.65	4.20	4.35
7.00	4.80	3.50	4.00	4.10
7.25	5.00	3.40	3.80	4.00
7.50	5.80	3.30	3.70	3.90
8.00	6.90	3.10	3.60	3.70
8.50	8.20	2.95	3.40	3.45
9.50	11.00	2.75	3.20	3.25
10.00	12.00	2.65	3.00	3.15
11.00	17.20	2.40	2.90	2.80

*Nota.* Lineamientos de alimentación para la trucha arco-íris.

## 2.5 Evaluación del crecimiento

En cada estanque, se aplicaron concentraciones específicas de ácido ascórbico, con valores de 300mg, 900mg y 1500mg por kilogramo de balanceado, manteniendo un estanque de control que no recibió suplemento de vitamina C en el alimento (figura 1). Este enfoque permitió evaluar de manera directa si las respuestas observadas en los peces estaban vinculadas a la adición de este compuesto.

Tras un seguimiento de tres meses, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los efectos de las diferentes concentraciones de ácido ascórbico en el crecimiento y la

supervivencia de los peces. Para evaluar el crecimiento, se registró con precisión el peso corporal de los peces, utilizando una balanza de precisión que aseguró resultados exactos y consistentes.

En cuanto a la supervivencia de los individuos en cada estanque, se realizó un seguimiento de los animales muertos, teniendo en cuenta la fecha de introducción de los peces en los estanques. Esta evaluación proporcionó información esencial sobre cómo las variadas concentraciones de ácido ascórbico afectaron la supervivencia de los peces en el sistema de recirculación acuícola.

Estos métodos de evaluación ofrecieron un enfoque integral para comprender los efectos de la variación de la concentración del ácido ascórbico en el crecimiento y la supervivencia de las truchas arcoíris en el sistema de recirculación.

## **2.6 Análisis estadístico**

Los datos recopilados, que abarcan el crecimiento medido en términos de biomasa y la supervivencia en función del número de individuos, fueron sometidos a una prueba de homocedasticidad y normalidad, para verificar la homogeneidad de las varianzas y la distribución normal de los datos, respectivamente.

Una vez confirmados estos supuestos, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) simple, con un nivel de significancia del 0,05%. Esto implica que cualquier diferencia estadística se consideraría significativa si la probabilidad de que ocurriera al azar fuera menor al 5%.

En el análisis de varianza, la variable independiente correspondió a las diferentes concentraciones de fosfato de ácido ascórbico, consideradas como factores. Las variables dependientes fueron el crecimiento, medido en términos de biomasa, y la supervivencia, medida en número de individuos.

La herramienta utilizada para llevar a cabo este análisis estadístico fue la versión 4.3.1. del software R, una plataforma ampliamente reconocida en el ámbito de la estadística y el análisis de datos. El uso de esta herramienta garantizó la precisión y confiabilidad de los resultados del análisis, proporcionando así una base sólida para las conclusiones del estudio.

## Capítulo tres

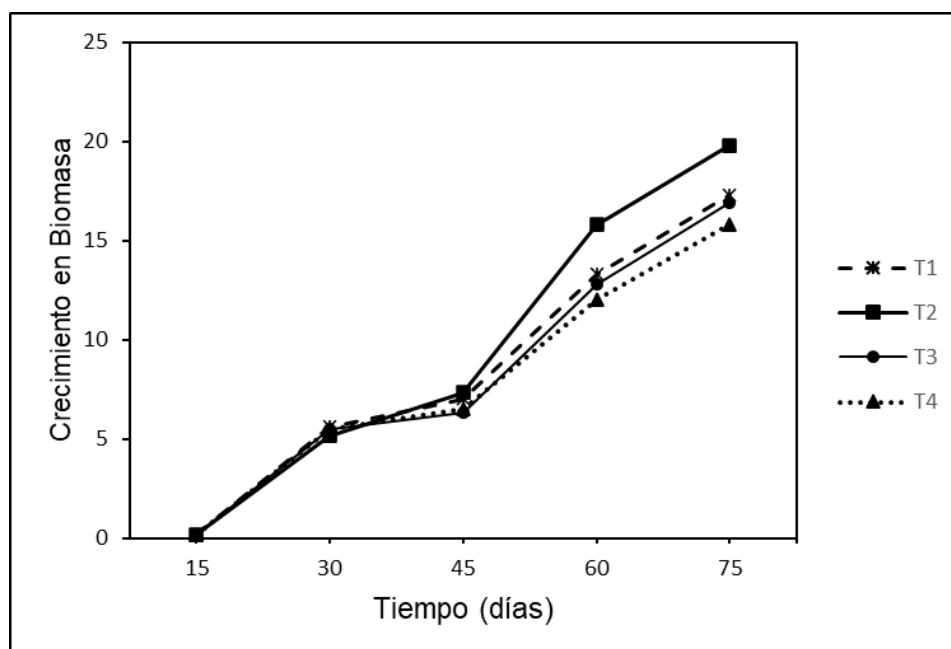
### Resultados

El monitoreo del crecimiento de los individuos a lo largo del tiempo reveló que el tratamiento 2, con una concentración intermedia de vitamina C (900 mg/Kg), condujo a mayores pesos observados. En contraste, los pesos más bajos se registraron en el grupo de control, evidenciando que la suplementación de vitamina C tuvo un impacto positivo en el peso de las truchas. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

Así mismo, el tratamiento 2 presentó los menores porcentajes de mortalidad, seguido del tratamiento 1, y posteriormente el tratamiento 3. El mayor porcentaje de mortalidad se registró en el grupo de control.

**Figura 2**

*Crecimiento en biomasa de O. mykiss a diferentes concentraciones de Vitamina C*



*Nota.* T1) Tratamiento suplementado con 1500mg/Kg; T2) Tratamiento suplementado con 900mg/Kg; T3) Tratamiento suplementado con 300mg/Kg; y T4) Tratamiento control.

Existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Pruebas de supuestos y diferencia de medias entre tratamientos*

	Shapiro Wilk		Kruskal Test/Anova	
	Estadístico	Valor p	Estadístico	Valor p
<b>Biomasa</b>	0.812	0.013	-	0.011
<b>Mortalidad</b>	0.814	0.0137	-	0.011
<b>Longitud</b>	0.976	0.570	4.754	0.006

La prueba de comparación múltiple reflejó que aquellos tratamientos que difieren entre sí:

- T2 y T3
- T1 y T4
- T2 y T4

**Tabla 2**

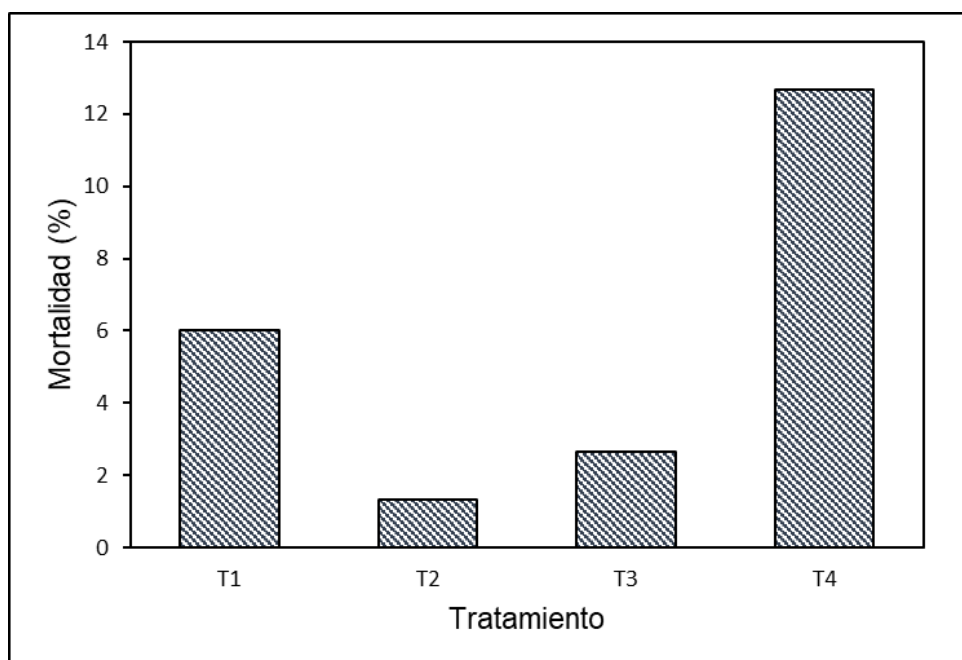
Prueba de Dunn		
Tratamientos	Z	Valor p
T1 - T2	-1.048	0.147
T1 - T3	1.048	0.147
T2 - T3	2.097	0.018
T1 - T4	2.097	0.018
T2 - T4	3.146	0.000
T3 - T4	1.0488	0.147

*Nota.* Prueba de Dunn para el crecimiento entre los tratamientos.

Se observó que el T2 tuvo los menores porcentajes de mortalidad, seguido del T1, luego el T3, y el control registró la más alta mortandad. Se comprobó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 2).

Estos resultados indican que las concentraciones de vitamina C impactaron significativamente tanto en el crecimiento como en la mortalidad de *O. mykiss*, siendo el tratamiento 2 el más efectivo en términos de biomasa y supervivencia.

Figura 3



*Nota.* Mortalidad de *O. mykiss* en los tratamientos.

La prueba de comparación múltiple reveló diferencias significativas entre los tratamientos:

- T1 y T2
- T2 y T4
- T3 y T4 (Tabla 4).

Tabla 3

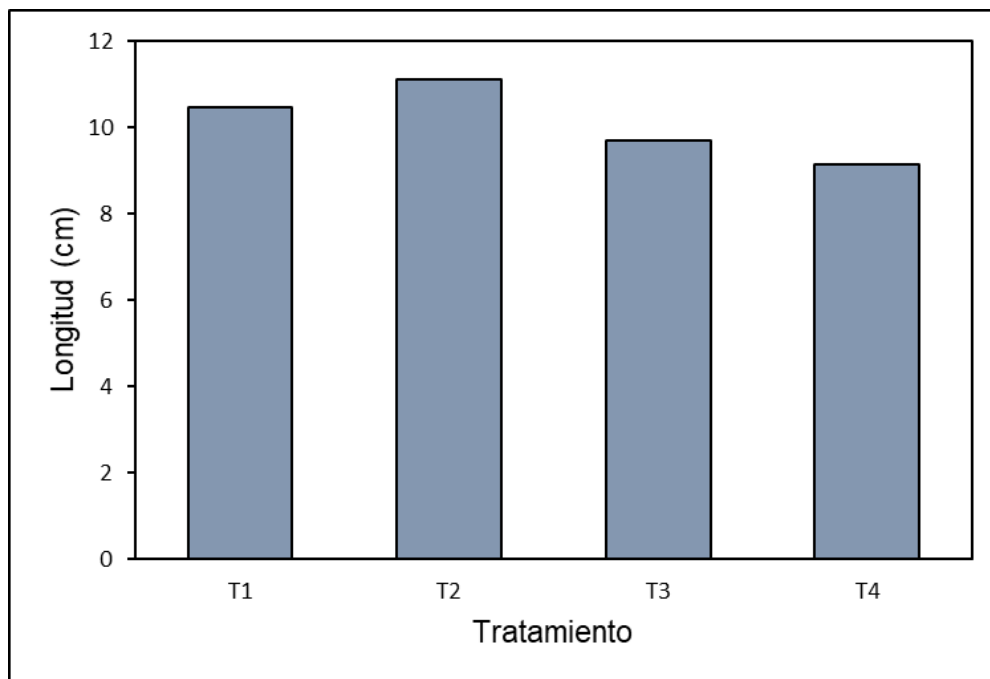
Prueba de Dunn		
Tratamientos	Z	Valor p
T1 - T2	2.097	0.018
T1 - T3	1.048	0.147
T2 - T3	-1.048	0.147
T1 - T4	-1.048	0.147
T2 - T4	-3.146	0.0008
T3 - T4	-2.097	0.018

*Nota.* Prueba de Dunn para el crecimiento entre los tratamientos.

Para el crecimiento en longitud (figura 4), al finalizar el monitoreo, se observó que en el tratamiento 2 obtuvo los valores más altos. Se confirmaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

**Figura 4**

*Crecimiento en longitud de O. mykiss en los tratamientos*



*Nota.* La prueba de comparación múltiple (Tabla 5) demostró que los tratamientos 2 y 4 difieren entre sí.

**Tabla 4.**

Prueba de Tukey				
Tratamientos	diff	lwr	upr	Valor p
T1 - T2	0.65	-0.846	2.146	0.649
T1 - T3	-0.77	-2.266	0.726	0.516
T1 - T4	-1.30	-2.796	0.196	0.107
T2 - T3	-1.42	-2.916	0.076	0.068
T2 - T4	-1.95	-3.446	-0.453	0.006
T3 - T4	-0.53	-2.026	0.966	0.776

*Nota.* Prueba de Tukey comparación de tratamientos

Estos resultados indican que el tratamiento 2 no solo afecta significativamente la biomasa y la mortalidad, sino que también promueve un mayor crecimiento en longitud en comparación con el tratamiento 4.

## Capítulo cuatro

### Discusión

La presente investigación demostró que la incorporación de Vitamina C en el alimento de *Oncorhynchus mykiss* tuvo un impacto significativo en el aumento de la biomasa y en la supervivencia de la especie. El tratamiento T2 (900mg/Kg) exhibió los resultados más prometedores, evidenciados por un aumento significativo en el peso promedio final (20g), una mayor longitud promedio final (11cm) y la más alta tasa de supervivencia con solo un individuo fallecido. Estos resultados sugieren que la suplementación de 900mg/Kg de Vitamina C es altamente beneficiosa para el crecimiento y la salud de las truchas arcoíris en condiciones de cultivo controladas y en un sistema de recirculación de agua (RAS).

Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la eficacia de la Vitamina C y otros suplementos en la dieta de la trucha para mejorar su crecimiento y salud, especialmente fortaleciendo el sistema inmunológico y actuando como antioxidante (Adel A & Khara, 2016; Osuna, 2009). La Vitamina C, al mejorar el rendimiento del sistema inmunológico innato, desencadena respuestas defensivas más efectivas contra patógenos, siendo de particular importancia para los peces en comparación con mamíferos.

Al comparar los resultados con estudios previos, se observa coherencia en la eficacia de la suplementación de Vitamina C. Aunque las condiciones de los ensayos pueden variar, los beneficios observados en términos de biomasa, mortalidad y eficiencia coinciden con investigaciones realizadas en especies similares (Blanco, 1985; Harsij et al., 2020). Además, la necesidad de evaluar diferentes concentraciones de Vitamina C para realizar comparaciones significativas entre tratamientos es un aspecto respaldado por la literatura (Rocha Falcon et al., 2007).

Resulta destacable que la Vitamina C, incluso en cantidades moderadas, demostró ser efectiva. Investigaciones anteriores indican que concentraciones normales (600-1000 mg/kg) pueden ser más beneficiosas económicamente sin comprometer los resultados, alineándose con estudios que sugieren que niveles excesivos pueden tener efectos adversos, como el aumento de los niveles séricos de colesterol (Deng et al., 2019).

Es crucial señalar que la deficiencia de Vitamina C en peces puede resultar en manifestaciones clínicas y cambios histopatológicos significativos, subrayando la importancia de su presencia en la dieta para mantener la salud y el desarrollo adecuado de la especie (Juan Olazábal et al., 2019).

En consonancia con estudios previos, se destaca que la Vitamina C no solo es esencial para el crecimiento y desarrollo adecuado de los peces, sino que también es fácil de incorporar en la dieta y almacenar, brindando una opción práctica para la acuicultura sostenible (Dabrowskia et al., 1990; Wahli et al., 2003).

Este estudio respalda la importancia de la Vitamina C como suplemento dietético en la acuicultura de truchas arcoíris, destacando la concentración de 900mg/Kg como la más beneficiosa para el crecimiento y la salud de la especie. Estos resultados proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y prácticas en la producción acuícola.

## **Conclusiones**

Este estudio demostró que la incorporación de vitamina C en la dieta de *Oncorhynchus mykiss* mejora significativamente el crecimiento y supervivencia en condiciones de cultivo controladas.

El tratamiento control exhibió los valores más bajos tanto en supervivencia como en crecimiento, demostrando la efectividad de la incorporación de Vitamina C en la dieta de la trucha arcoíris en condiciones de cultivo controladas.

La concentración de 900 mg/Kg de vitamina C resultó ser la adecuada en la producción de individuos de trucha arcoíris en un sistema de recirculación acuícola, pues mostró los mejores valores de crecimiento y menores de mortandad.

### **Recomendaciones**

Se recomienda llevar a cabo estudios de mayor rango temporal que permitan monitorear el efecto de la suplementación con vitamina C en todas las etapas de crecimiento de la trucha arcoíris.

Sugerimos incluir técnicas de limpieza de residuos sólidos y recambios de agua constantes durante el proceso de cultivo para evitar mortandad de los individuos por causas ajenas a la experimentación.

Se recomienda en estudios similares incluir la medición de variables ambientales como disponibilidad de luz, oxígeno disuelto en el agua y temperatura; que permitan el desarrollo adecuado dentro de un sistema de investigación acuícola.

Se aconseja llevar a cabo estudios adicionales que evalúen los posibles impactos ecológicos y económicos de la suplementación de Vitamina C en la acuicultura de truchas arcoíris. Estos estudios pueden incluir análisis de costos y beneficios, así como evaluaciones ambientales para garantizar prácticas de cultivo sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

## Referencias

- Abad Godoy, R. D. (2015). *Distribución y abundancia de truchas en relación a las comunidades de macroinvertebrados y variables fisico-químicas en ríos alto andinos*.
- Adel A, & Khara, ; (2016). The effects of different dietary vitamin C and iron levels on the growth, hematological and immunological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fingerlings. In *Iranian Journal of Fisheries Sciences* (Vol. 15, Issue 2).
- Alanes Oña, L. E. (2020). *Alimentación y nutrición en peces de agua dulce*.
- Ancco, J. (2023). *Caracterización y análisis de conglomerados del cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la provincia de Abancay (Apurímac, Perú)*.
- Ariza, F. G., & Mujica Rodriguez, E. (2019). Tecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura: revisión. *Ingeniería y Región*, 21, 2–11. <https://doi.org/10.25054/22161325.1841>
- As, C., & Landines, M. (2009). *Efecto del ácido ascórbico sobre la respuesta de los peces ante condiciones de estrés. Effect of ascorbic acid on the fish response of stress condition*.
- Asencio Alcudia, G. G. (2021). *Efecto del uso de aditivos alimentarios funcionales en peces de importancia comercial (*Seriola rivoliana*, *Argyrosomus regius*, *Atractosteus tropicus*)*.
- Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, 1–11. <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-003>
- Betanzo, E., Marín, J., Piñar, M., Celdran, D., & Sandoval, L. (2022). Sistemas para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en México: un análisis de sustentabilidad. *Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad*:
- Blanco, O. (1985). El ácido ascórbico (vitamina c) un factor importante en el diseño de dietas para truchas: salmo gairdneri. *Tecnología En Marcha*, 8(1), 23-26.
- Campos, S., & María, R. (2020). *Vitamina C: Funciones en el organismo y fuentes alimentarias*. <http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

- Ciriminna, L., Signa, G., Vaccaro, A. M., Visconti, G., Mazzola, A., & Vizzini, S. (2021). Turning waste into gold: Sustainable feed made of discards from the food industries promotes gonad development and colouration in the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). *Aquaculture Reports*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100881>
- Crespo Guerrero, J. M., & Jiménez Pelcastre, A. (2021). Towards a sustainable fishing and aquaculture development in Mexico in Mexico: regulatory frameworks, socioeconomic organization, and challenges. *Cuadernos Geograficos*, 60(3), 6–28. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.15953>
- Dabrowskia, K., El-Fiky, N., K&ka, G., Friggb, M., & Wiesep, W. (1990). Requirement and utilization of ascorbic acid and ascorbic sulfate in juvenile rainbow trout. In *Aquaculture*.
- Deng, J. M., Zhang, X. D., Zhang, J. W., Bi, B. L., Wang, H. Z., Zhang, L., & Mi, H. F. (2019). Effects of dietary ascorbic acid levels on cholesterol metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 25(6), 1345–1353. <https://doi.org/10.1111/anu.12955>
- Echeverria. (2023). *Estudio del sistema de vida de unidades de produccion familiar en comunidades rurales de Chiapas, México.*
- Forero, L., & Ruiz, D. (2020). *Propuesta de modelo de productividad y competitividad para un cultivo de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss), mediante un sistema de recirculación de agua (RAS), en la etapa de levante y ceba en Boyacá - Colombia.*
- García-Mondragón, D., Gallego-Alarcón, I., Espinoza-Ortega, A., García-Martínez, A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2013). *Desarrollo de la producción de trucha arcoiris (Oncorhynchus mykiss) en el Centro de México.* <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=264>
- García, R., & Sanchez, I. (2015). Evaluación de diferentes drenajes de tanques circulares para cultivo de trucha en sistemas de recirculación. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 30. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)30-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)30-39)

- Harsij, M., Gholipour Kanani, H., & Adineh, H. (2020). Effects of antioxidant supplementation (nano-selenium, vitamin C and E) on growth performance, blood biochemistry, immune status and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under sub-lethal ammonia exposure. *Aquaculture*, 521. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734942>
- Juan Olazábal, L., Rosina Camargo, H., Madeline García, L., & Morales-Cauti, S. (2019). Vitamin C deficiency as a cause of mortality and morbidity in intensive breeding Guinea pigs and their treatment. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 30(4), 1718–1723. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17147>
- Leal, E. (2017). Caracterización de la respuesta inmunitaria en mucosas y su modulación a través de la dieta en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista Científica de La Sociedad Española de Acuicultura* 14 *Revista AquaTIC*, 52, 14–15. <http://www.revistaaquatic.com>
- Machaca Pampa, P. (2023). *Evaluación y manejo de la calidad del agua e indicadores productivos del RAS de alevines de trucha arcoiris (Oncorhynchus mykiss)*.
- Mora, V., Uyaguari, M., & Osorio, V. (2009). *Situación actual de las especies introducidas en el Ecuador con fines acuícolas*. ESPOL.
- Olaya, K. (2021). *Efecto del ácido ascórbico en dieta, sobre la repuesta nutricional y metabólica en juveniles de tilapia roja*.
- Ospina, F. (2020). *Perfil de ácidos grasos, proteínas y lípidos en diferentes estadios del desarrollo embrionario-larvario en trucha arco iris, (Oncorhynchus mykiss Walbaun, 1972) y su relación con análisis morfométricos e índices de eficiencia* [Universidad de La Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_agrociencias](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agrociencias)
- Osuna, B. (2009). *Requerimiento nutricional de vitamina C y efectos de su deficiencia en el desarrollo de juveniles de pargo flamenco (Lutjanus guttatus), (Steindachner, 1869)*.
- Peña, L. (2020). *Estudio de factibilidad para implementar sistemas de recirculación acuícola (RAS) aplicado a la tilapia roja en los departamentos del Tolima y Huila, disminuyendo*

*los impactos ambientales en fuentes hídricas producidos por la piscicultura convencional.*

- Rocha Falcon, D., Maria Barros, M., Edivaldo Pezzato, L., & de Barros Valle, J. (2007). *Lipídeo e vitamina C em dietas preparatórias de inverno para tilápias-do-nilo*. 36(5), 1462–1472. [www.sbz.org.br](http://www.sbz.org.br)
- Santana, G. (2023). Sustentabilidad y gestión empresarial en la acuicultura de Guerrero, México. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*.
- Seminario Cunya. (2022). La alimentación de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*(Walbaum, 1792)) en la acuicultura peruana. *REVISTA NOR@NDINA*, 5(2), 173–191. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2022v5n2p173>
- Tavara, C. (2019). *Expresion de genes de la respuesta inmune local y sistémica frente a la infección por Flavobacterium psychrophilum en trucha arcoiris Oncorhynchus mykiss en ña provincia de Puno-Perú.*
- Trucha, L. (2018). *Formulación y aplicación de dietas alimenticias para los diferentes estados de desarrollo de la “Arco iris” Salmo gairdnerii.*
- Vargas, J. (2023). *Aplicación de dos sistemas de aireación y tres densidades de siembra en la etapa de crecimiento en el cultivo de paco (Piaractus brachypomus), Provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas.*
- Velarde, A. (2022). *Producción de trucha arcoiris (oncorhynchus mykiss) en la comunidad de Pajcha pata del municipio de Mizque - Cochabamba.*
- Velasco Garzón, J. S., & Gutiérrez Espinosa, M. C. (2019a). Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. *Revista Politécnica*, 15(30), 82–93. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a8>
- Velasco Garzón, J. S., & Gutiérrez Espinosa, M. C. (2019b). Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. *Revista Politécnica*, 15(30), 82–93. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a8>
- Villalva, M. (2018). *La crianza y comercialización de trucha, un negocio rentable.*

- Wahli, T., Verlhac, V., Girling, P., Gabaudan, J., & Aebischer, C. (2003). Influence of dietary vitamin C on the wound healing process in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 225(1–4), 371–386. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00302-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00302-8)
- Yu, Z., Guindani, M., Grieco, S. F., Chen, L., Holmes, T. C., & Xu, X. (2022). Beyond t test and ANOVA: applications of mixed-effects models for more rigorous statistical analysis in neuroscience research. In *Neuron* (Vol. 110, Issue 1, pp. 21–35). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.10.030>

## Apéndices

### Apéndice A. Optimización del sistema RAS en cuanto a la distribución de agua y recirculación.



### Apéndice B. Implementación y ajuste de un filtro mecánico (gravilla) en el punto de captación de agua del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.



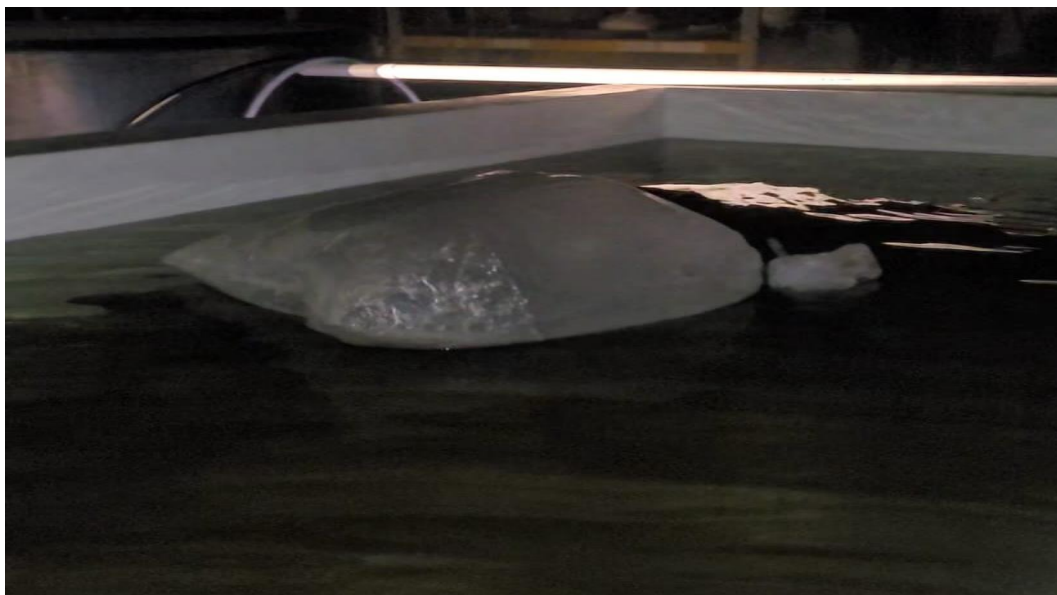
**Apéndice C. Limpieza y desinfección de los tanques de producción acuícola dentro del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



**Apéndice D. Configuración del temporizador en el sistema RAS para mejorar la oxigenación y el bombeo eficiente de agua.**



**Apéndice E. Aclimatación de alevines de trucha arcoíris en las piscinas del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



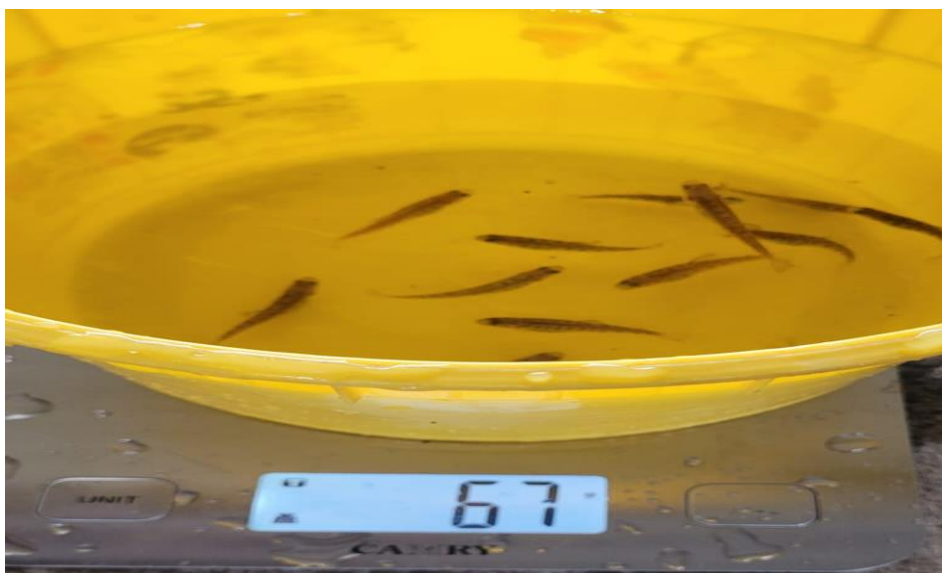
**Apéndice F. Fosfato de ácido ascórbico al 98% de pureza en forma de vitamina C.**



**Apéndice G. Medición del peso de la vitamina C, en la forma de fosfato de ácido ascórbico, utilizando una balanza de alta precisión en los laboratorios de la UTPL.**



**Apéndice H. Monitoreo y control del peso de los alevines durante las primeras semanas del proyecto en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



**Apéndice I. Registro de parámetros del agua, como temperatura y porcentaje de oxígeno disuelto, en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



**Apéndice J. Registro y control de medidas ante la presencia de un ejemplar muerto de trucha arcoíris.**



**Apéndice K. Alevines de trucha arcoíris de la misma edad, provenientes de tanques distintos y suplementados con diferentes dosis de vitamina C.**



**Apéndice L. Supervisión de alevines: captura de ejemplares para realizar pesajes y calcular la conversión alimenticia.**



**Apéndice M. Trucha arcoíris en fase juvenil, alojada en los estanques del sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



**Apéndice N. Pesaje de alevines, realizado aproximadamente a las seis semanas de su permanencia en el sistema, como parte de la implementación del proyecto en un sistema RAS en la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



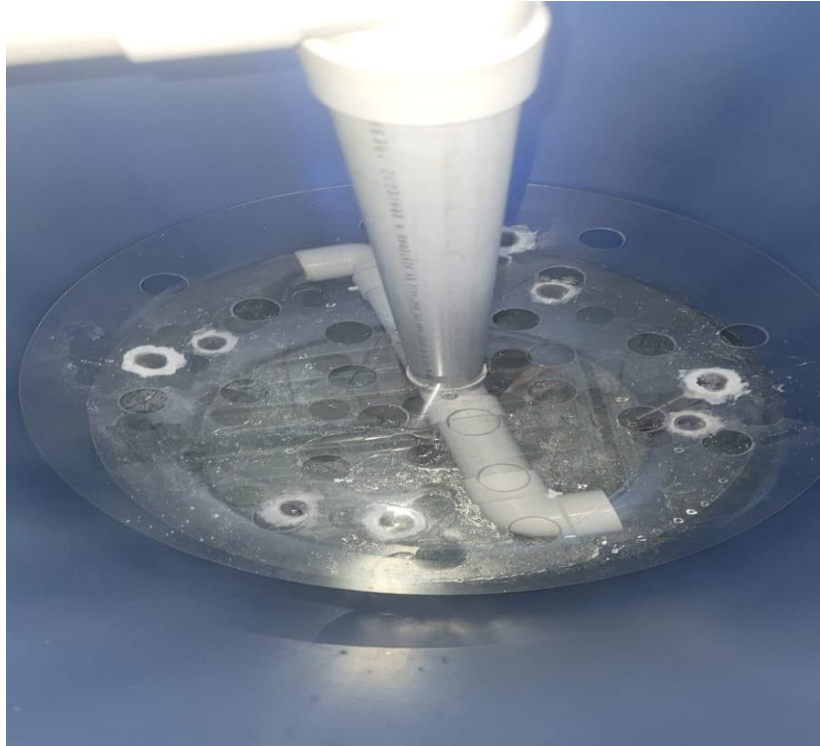
**Apéndice O. Implementación de válvulas check en el sistema RAS, facilitando el flujo unidireccional del agua en la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



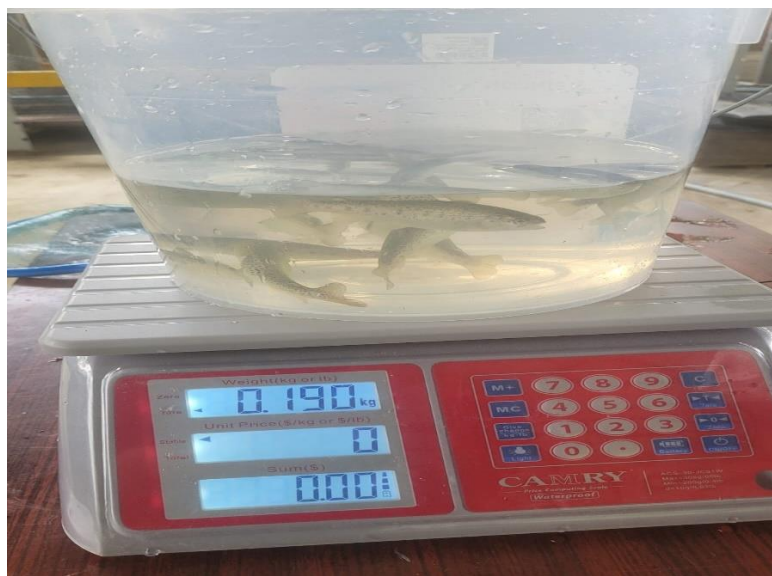
**Apéndice P. Limpieza y sifoneo de fondo de los tanques de producción acuicola del sistema RAS de la Estacion Agropecuaria de UTPL.**



**Apéndice Q. Limpieza y mantenimiento de los filtros mecánicos y biológicos en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL**



**Apéndice R. Seguimiento y pesaje de juveniles en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL.**



**Apéndice S. Ejemplar de trucha arcoíris con aproximadamente 8 semanas de crecimiento en el sistema RAS de la Estación Agropecuaria de la UTPL**

