

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE PESQUERIA**



**“EVALUACIÓN Y MANEJO DE LA CALIDAD DEL AGUA E  
INDICADORES PRODUCTIVOS DEL RAS DE ALEVINES DE  
TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO PESQUERO**

**PATRICIA MACHACA PAMPA**

**LIMA-PERÚ**

**2023**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art.24 – Reglamento de propiedad intelectual)**

## Document Information

Analyzed document	Monografía TSP 2022 - PATRICIA MACHACA PAMPA (5).docx (D168817711)
Submitted	2023-05-29 08:55:00
Submitted by	Fernando Santiago Galecio Regalado
Submitter email	fgalecio@lamolina.edu.pe
Similarity	2%
Analysis address	fgalecio.unalm@analysis.urkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional Agraria La Molina / Monografía TSP 2022 - PATRICIA MACHACA PAMPA.docx</b> Document Monografía TSP 2022 - PATRICIA MACHACA PAMPA.docx (D151545358) Submitted by: fgalecio@lamolina.edu.pe Receiver: fgalecio.unalm@analysis.urkund.com	 3
-----------	--	---

## Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE PESQUERIA  
"EVALUACION Y MANEJO DE LA CALIDAD DEL AGUA E INDICADORES PRODUCTIVOS DEL RAS DE ALEVINES DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)"  
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA PESQUERA  
PATRICIA MACHACA PAMPA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE PESQUERIA**

**“EVALUACIÓN Y MANEJO DE LA CALIDAD DEL AGUA E  
INDICADORES PRODUCTIVOS DEL RAS DE ALEVINES DE  
TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)”**

Presentado por:

**PATRICIA MACHACA PAMPA**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de:

**INGENIERO PESQUERO**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

---

M. Sc. Anibal S. Verástegui Maita  
Presidente

---

Dr. Wilfredo L. Vásquez Quispesivana  
Miembro

---

Dr. Jaime H. Mendo Aguilar  
Miembro

---

M. Univ. Fernando S. Galecio Regalado  
Asesor

LIMA, 2023

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi papá y mamá por sus enseñanzas, consejos y motivación a ser una mejor persona y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos por su afecto y apoyo en cumplir todas mis metas.

A mi esposo Patricio por su amor, apoyo y buen ánimo en culminar cada meta profesional y personal.

A mi hija Catalina, por ser mi fuente de inspiración.

A mi asesor, profesor Fernando Galecio por su apoyo desde antes de iniciar este trabajo.

A mis amigas Fiorella y Gandy por sus consejos y apoyo desinteresado en iniciar y culminar este trabajo.

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	1
1.1	Problemática .....	1
1.2.	Objetivos.....	2
II.	REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1.	Cultivo de truchas .....	3
2.2.	Sistema de recirculación acuícola (RAS) .....	3
2.3.	Componentes del RAS .....	4
2.3.1.	Filtración mecánica.....	5
2.3.2.	Filtración biológica .....	5
2.3.3.	Sistema de desgasificación.....	7
2.3.4.	Sistema de bombas .....	8
2.4.	Parámetros de calidad de agua para el cultivo de la Trucha en un RAS .....	8
2.4.1.	Temperatura.....	8
2.4.2.	Oxígeno .....	8
2.4.3.	Nitritos y Nitratos .....	9
2.4.4.	pH .....	9
2.4.5.	Dióxido de carbono.....	10
2.4.6.	Solidos suspendidos .....	10
2.4.7.	Alcalinidad .....	10
2.5.	Indicadores de producción.....	11
2.5.1.	Mortalidad .....	11
2.5.2.	Tasa de crecimiento específico (SGR).....	11
2.5.3.	Factor de conversión de alimento (FCR) .....	11
III.	DESARROLLO DEL TRABAJO .....	13
3.1.	Ubicación y periodo .....	13
3.2.	Funcionamiento del RAS .....	13
3.3.	Experiencia y aporte profesional en los trabajos realizados .....	14
3.4.	Contribución en la solución de situaciones problemáticas .....	17
3.5.	Análisis de la propuesta.....	25

3.6. Beneficio obtenido respecto a la propuesta en contribución .....	30
IV. CONCLUSIONES .....	32
V. RECOMENDACIONES .....	33
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	35

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos del agua al intermedio de la producción. ....	18
Tabla 2: Tasa de recambio hidráulico en función de la concentración de amonio. ....	20
Tabla 3: Evaluación de los órganos respiratorios.....	21
Tabla 4: Comparación de resultados del sistema utilizado.....	30

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: El tratamiento básico del agua en un sistema de recirculación. ....	5
Figura 2: Puesta en marcha de un biofiltro hasta desarrollar su capacidad máxima. ....	7
Figura 3: Distribución del sistema de recirculación acuícola de truchas. ....	14
Figura 4: Relación entre concentraciones de amoníaco, nitritos y pH en el transcurso de toda la producción del lote de peces. ....	19
Figura 5: Mortalidad del lote de peces expresado en cantidad numérica. ....	22
Figura 6: Mortalidad del lote de peces expresado en porcentaje. ....	22
Figura 7: Curvas de crecimiento. ....	23
Figura 8: Relación entre SGR y temperatura del agua. ....	24
Figura 9: Factor de conversión alimenticia del lote de peces. ....	25

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1: Monitoreo de niveles de nitrito .....	41
ANEXO 2: Monitoreo de niveles de amoniaco .....	41
ANEXO 3: Control sanitario de peces, opérculos y branquias expuestas .....	42
ANEXO 4: Control sanitario de peces, órganos internos .....	42

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el sistema de recirculación acuícola (RAS) para la producción intensiva de alevines de truchas arco iris (*Orconhynchus mykiss*) monitoreando la calidad del agua y los indicadores de producción. El funcionamiento del RAS se inicia con la captación del agua de una fuente natural subterránea (pozo) la cual ingresa al sistema de recirculación pasando por el filtro mecánico, el filtro biológico, desgasificador, UV y oxigenación; para luego ser distribuido a los tanques con peces y su retorno al inicio del sistema. Los resultados de la calidad del agua demostró el buen funcionamiento del sistema (biofiltro, filtro mecánico, UV, saturador de oxígeno y desgasificadores) el cual fue monitoreado y controlado de manera adecuada trabajando en conjunto con el manejo de los flujos de renovación de agua y el control sanitario de las truchas. Los principales indicadores de producción determinados y evaluados fueron: la mortalidad acumulada (1488 muertos, 0.99%), la tasa de crecimiento específico (SGR) de los alevines obtuvo un valor de 9.29 inicialmente y llegó a 4.61 previo a la cosecha y el factor de conversión alimenticia (FCA) en promedio 0.65. La aplicación del sistema RAS ha permitido la reutilización del agua en un 75% a más y una producción máxima mensual de 400 mil alevines demostrando ser eficiente y más productivo que el sistema convencional abierto.

**Palabras claves:** RAS, trucha, indicadores de producción, calidad de agua.

## **ABSTRACT**

In the present work, the recirculating aquaculture system (RAS) was evaluated for the intensive production of rainbow trout fingerlings (*Oncorhynchus mykiss*) by monitoring water quality and production indicators. The operation of the RAS begins with the collection of water from a natural underground source (well) which enters the recirculation system through the mechanical filter, the biological filter, degasser, UV and oxygenation; to later be distributed to the tanks with fish and its return to the beginning of the system. The results of the water quality demonstrated the proper functioning of the system (biofilter, mechanical filter, UV, oxygen saturator and degassers) which was adequately monitored and controlled working in conjunction with the management of water renewal flows and trout health control. The main production indicators determined and evaluated were: accumulated mortality (1488 deaths, 0.99%), the specific growth rate (SGR) of the fingerlings obtained a value of 9.29 initially and reached 4.61 prior to harvest and the factor of feed conversion (FCA) on average 0.65. The application of the RAS system has allowed the reuse of water by 75% or more and a maximum monthly production of 400,000 fingerlings, proving to be efficient and more productive than the open conventional system.

**Keywords:** RAS, trout, production indicators, water quality.

## I. INTRODUCCION

Mediante la presente se describe la experiencia del trabajo realizado durante los años 2017 – 2020, en el cual me desempeñaba con el cargo de jefe de centro de producción de alevines de truchas en un sistema de recirculación (RAS) en la empresa Acuisolutions S.A.C. ubicado en la ciudad de Puno. Parte de esta experiencia obtenida fue la de demostrar las ventajas de la aplicación del RAS optimizando los recursos y equipos de producción, mejorando su rentabilidad.

### 1.1 Problemática

Actualmente en el mundo se vienen implementando tecnologías de sistemas de recirculación acuícola (RAS), para diversas especies acuáticas debido a la ventaja de manejar grandes volúmenes de peces con un alto grado de control de parámetros ambientales utilizando una reducida cantidad de agua (Timmons *et al.*, 2002), sin embargo, a esta le corresponde una alta inversión inicial en equipos y materiales de última tecnología, a su vez el eficiente manejo de los recursos.

Antes de la implementación del RAS la empresa Acuisolutions S.A.C. operaba utilizando el sistema convencional para la producción de alevines de truchas bajo condiciones de baja calidad y cantidad de agua disponible el cual no permitía obtener buenos resultados productivos. Después, en la puesta en marcha del sistema la empresa producía volúmenes inferiores de alevines haciendo ineficiente la utilización de recursos.

Por ello, se propuso demostrar las ventajas del sistema de recirculación y estimar la capacidad máxima de producción incrementando el volumen de producción que permita el funcionamiento

eficiente del sistema obteniendo buenos indicadores productivos. Dicha propuesta permitiría utilizar eficientemente los recursos del sistema y ofertar elevada cantidad y calidad de alevines.

## **1.2. Objetivos**

### **Objetivo General**

- Evaluar el sistema de recirculación acuícola (RAS) para la producción de alevines de truchas arco iris (*Orconhynchus mykiss*) a través de los indicadores de producción y la calidad del agua.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar el funcionamiento del sistema RAS.
- Monitorear y evaluar los principales parámetros de la calidad del agua.
- Determinar y evaluar los principales indicadores de producción.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. Cultivo de truchas**

El cultivo de truchas en los últimos 10 años creció 402.2%. En el 2018, la cosecha de truchas obtenidas de los centros de acuicultura de todo el Perú fue de 64372 toneladas y dichos centros de producción se localizan principalmente en regiones altoandinas de Puno, que obtuvo 50914 toneladas (PRODUCE, 2018).

### **2.2. Sistema de recirculación acuícola (RAS)**

El cultivo de truchas en los últimos 10 años creció 402.2%. En el 2018, la cosecha de truchas obtenidas de los centros de acuicultura de todo el Perú fue de 64372 toneladas y dichos centros de producción se localizan principalmente en regiones altoandinas de Puno, que obtuvo 50914 toneladas (PRODUCE, 2018).

Los sistemas de recirculación acuícola son definidos como procesos continuos. El agua usada para el cultivo de peces es tratada mediante filtros físicos, químicos y biológicos para volver a recircularla en el sistema. Adicionalmente solo se renueva un reducido porcentaje del agua (Timmons *et al.*, 2002).

Según Gullian y Aramburu (2013), el desempeño de los componentes del RAS para mejorar la calidad del agua de cultivo define el nivel de producción del RAS.

Según estudios de impacto ambiental de Samuel *et al.* (2012), en el RAS de truchas las mayores ventajas son el menor uso de agua y la reducción de los impactos de eutrofización, mientras que la principal desventaja es el impacto por calentamiento global debido al uso de electricidad. No obstante lo anterior, tiene el potencial de reducir el impacto general cuando se utilizan fuentes de energía alternativa como la eólica o solar.

VKM (2012) enfatiza que el manejo del RAS requiere de mano de obra especializada capaz de monitorear y comprender los parámetros claves de la calidad de agua y los indicadores de producción a fin de salvaguardar el bienestar de los peces.

### **2.3. Componentes del RAS**

Un RAS posee al menos cuatro componentes básicos: la circulación de agua, la remoción de sólidos, la biofiltración y el intercambio gaseoso (Timmons *et al.*, 2002).



**Figura 1: El tratamiento básico del agua en un sistema de recirculación.**

FUENTE: Bregnballe (2015)

### 2.3.1. Filtración mecánica

Se utiliza para eliminar desechos orgánicos en suspensión (compuestas esencialmente de heces y alimento no consumido de los peces), material bacteriano de la biopelícula y microfauna en el biofiltro (Wedemeyer, 1996).

Entre los filtros mecánicos más usados destaca el filtro de tambor rotatorio, el que opera utilizando mallas en una criba cilíndrica, por las que pasa el efluente atrapando las partículas.

### 2.3.2. Filtración biológica

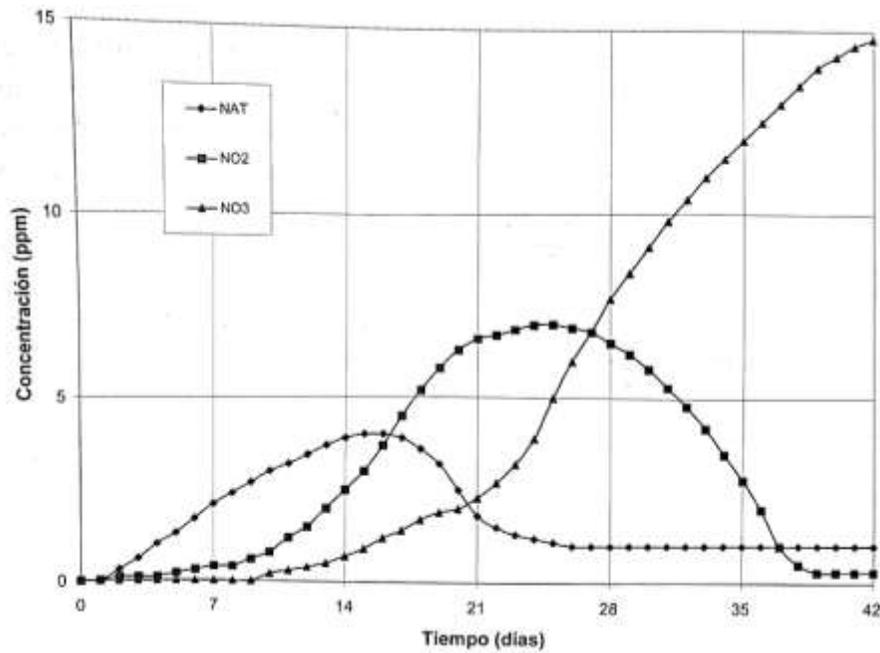
La filtración biológica es el proceso de remoción de nitrógeno amoniacal que se denomina nitrificación, y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco, primero a nitrito y finalmente a nitrato. La nitrificación es llevada a cabo por las bacterias quimioautótrofas. En primer lugar por

las del género *Nitrosomonas* spp., al oxidar el nitrógeno amoniacal hasta transformarlo en nitrito, y en segundo lugar por las del género *Nitrobacter* spp., al oxidar los nitritos para transformarlos en nitratos; todo el proceso se desarrolla bajo condiciones aeróbicas y en ausencia de luz (Timmons *et al.*, 2002).

La maduración del biofiltro sucede cuando en el RAS se incrementa la concentración de nitrógeno amoniacal, lo que promueve el crecimiento de las bacterias *Nitrosomonas* y la acumulación de nitritos. Luego, se empiezan a desarrollar las bacterias *Nitrobacter*, que oxidan los nitritos, las cuales debido a su baja tasa de crecimiento, tardan aproximadamente dos semanas en desarrollarse (Avnimelech, 2015), seguidamente los niveles de nitrógeno amoniacal disminuyen, sin embargo las concentraciones de nitritos aumentan. Estos metabolitos en concentraciones altas pueden ser tóxicos para los organismos en cultivo.

Diversos autores mencionan el tiempo de maduración de un biofiltro. Gallego y García (2017) estimaron 37 días en el que se tiene una población aceptable de bacterias que oxidan los compuestos nitrogenados. Avnimelech (2015) estima que se requieren cuatro semanas para que las bacterias nitrificantes colonicen el medio filtrante. García *et al.* (2011) dieron por 3 semanas el tiempo de maduración. Según Colt *et al.* (2006) puede tomar hasta 60 días el crecimiento de bacterias autótrofas para un nuevo biofiltro.

El tiempo de la maduración del biofiltro está influenciada por algunos factores: la temperatura, la cual debe mantenerse entre 10 a 35°C dependiendo de la especie de cultivo, el pH que debe registrarse entre 7.0 a 7.5 y la concentración de compuestos nitrogenados los cuales dependen en forma directa de la biomasa cultivada (Bregnballe, 2015).



**Figura 2: Puesta en marcha de un biofiltro hasta desarrollar su capacidad máxima.**

FUENTE: Timmons *et al.* (2002)

### 2.3.3. Sistema de desgasificación

Producto de la respiración de los peces y la descomposición de materia orgánica (proveniente de los tanques de cultivo y del biofiltro) se genera dióxido de carbono, un gas tóxico para los peces (Timmons *et al.*, 2002).

El proceso de aireación o desgasificación añadirá oxígeno al agua por el intercambio entre los gases en el agua y los gases en el aire dependiendo del nivel de saturación de oxígeno en el agua.

#### **2.3.4. Sistema de bombas**

En un RAS las operaciones son continuas y por tanto requieren el funcionamiento eficiente y continuo de las bombas. Se utilizan diversas bombas para el transporte de alto caudal de agua y es recomendable que éstas funcionen con energía trifásica (380 V).

### **2.4. Parámetros de calidad de agua para el cultivo de la Trucha en un RAS**

#### **2.4.1. Temperatura**

Para el cultivo de truchas el rango admisible de la temperatura del agua es entre 11<sup>a</sup> 16°C, siendo el óptimo las temperaturas superiores del rango (15 a 16°C). A temperaturas inferiores del rango el periodo de crecimiento se prolonga, y a temperaturas superiores del rango existe riesgo de propagación de enfermedades (FONDEPES, 2014).

Estudios sobre truchas arco iris de Ella *et al.* (2017) demostraron que hay un aumento del crecimiento a temperatura elevada, la tasa de crecimiento es más alta entre 14 y 18 °C, sin embargo, existe una disminución en el apetito cuando la temperatura supera los 18°C.

Handeland *et al.* (2003) encontró una relación lineal entre el SGR y la temperatura para smolts de salmón, sugiriendo una temperatura óptima para crecimiento a 13°C.

#### **2.4.2. Oxígeno**

Los peces captan el oxígeno disuelto del agua a través de las branquias, el mismo que es transferido a la sangre, luego llega al corazón y este lo bombea al torrente sanguíneo (FONDEPES, 2014).

Un estudio con salmón del Atlántico de Bergheim *et al.* (2006) recomienda manejar niveles de oxígeno por encima del 85% de saturación como límite inferior ya que por debajo de este valor se ven seriamente afectados los indicadores de crecimiento como la tasa de crecimiento y la tasa de conversión alimenticia.

Aatland y Bjerknes (2009) mencionan que incorporar oxígeno puro en los sistemas de producción puede generar toxicidad por sobresaturación en los peces, debido a que produce superóxido que en altas cantidades que puede causar daños a nivel celular y ADN provocando la muerte de peces.

### **2.4.3. Nitritos y Nitratos**

La cantidad de nitrito que ingresa a la sangre depende de la proporción de nitrito a cloruro en el agua. Los niveles crecientes de cloruro en el agua reducen la absorción del nitrito. Los niveles de cloruro pueden aumentarse agregando cloruro de sodio (sal industrial) o cloruro de calcio (Timmons *et al.*, 2002).

### **2.4.4. pH**

La alteración del pH puede afectar otros parámetros químicos del agua, un buen ejemplo es la reducción del pH que modifica la distribución de las formas de amoníaco en el agua o la solubilidad de metales tóxicos (Wedemeyer, 1996).

La regulación del pH debe estar en función con la eficiencia del filtro biológico, esto debido a que se busca desarrollar y mantener una alta tasa de bacterias nitrificantes. Niveles de pH por debajo de 7.0 reducen la eficiencia del biofiltro. Niveles de pH por encima de 7.5 aumenta las concentraciones de amoníaco libre (NH<sub>3</sub>) lo que eleva el efecto tóxico (Bregnballe, 2015).

#### **2.4.5. Dióxido de carbono**

Las concentraciones de dióxido de carbono se controlan de forma rutinaria a través de sistemas de desgasificación. Si la alcalinidad es relativamente constante entonces los niveles de CO<sub>2</sub> pueden ser manejados fácilmente con el simple hecho de medir el pH (Timmons *et al.*, 2009).

La exposición a altas concentraciones de dióxido de carbono limita la respiración y reduce la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto efectuando mayor riesgo en la supervivencia de los peces. Se recomienda manejar un límite superior para dióxido de carbono de 15-20 mg/l como máximo para peces en condiciones prolongadas (Timmons *et al.*, 2002).

#### **2.4.6. Sólidos suspendidos**

Becke *et al.* (2018) estudiaron la exposición a largo plazo de una alta carga de partículas finas en suspensión en RAS, examinando la histopatología y los indicadores de crecimiento de la trucha arco iris, los cuales no se vieron significativamente afectados corroborando con los hallazgos previos relacionados (Becke *et al.*, 2017).

#### **2.4.7. Alcalinidad**

Timmons y Ebeling (2010) mencionan que el agua con alta alcalinidad presenta cantidades de carbonatos (como CaCO<sub>3</sub>) que mejoran la producción de la biomasa de bacterias nitrificantes en un biofiltro.

## **2.5. Indicadores de producción**

Una de las maneras de medir el éxito en la producción de peces es evaluando los principales indicadores de producción (Crampton, y Sveidqvist, 2002), ello en conjunto con el buen desempeño de la calidad del agua pueden asociar un buen nivel de salud y bienestar en los peces cultivados.

### **2.5.1. Mortalidad**

Parámetro que expresa una disminución de una población en el tiempo (Espino, 2008)

### **2.5.2. Tasa de crecimiento específico (SGR)**

El SGR (por sus siglas en inglés Specific Growth Rate) es una medida del crecimiento para medir la rapidez con que crecen los peces, expresada en peso ganado por unidad de biomasa por unidad del tiempo (día) (Timmons *et al.*, 2002).

$$\text{SGR} = (\ln \text{Pf} - \ln \text{Pi})/t$$

Dónde:

SGR (% kg/día)	:	Tasa específica de crecimiento
Pf (kg)	:	Peso final
Pi (kg)	:	Peso inicial
t (días)	:	Tiempo

### **2.5.3. Factor de conversión de alimento (FCR)**

El FCR (por sus siglas en inglés Feed Conversion Ratio) es la cantidad de alimento suministrado a los peces para obtener un aumento unitario en la biomasa (Crampton y Sveidqvist, 2002).

$$\text{FCR} = \text{Alimento utilizado} / (\text{Biomasa final} - \text{Biomasa inicial})$$

Dónde:

FCA : Factor de conversión alimenticia

Alimento utilizado (expresado en kg)

Biomasa inicial (expresado en kg)

Biomasa final (expresado en kg)

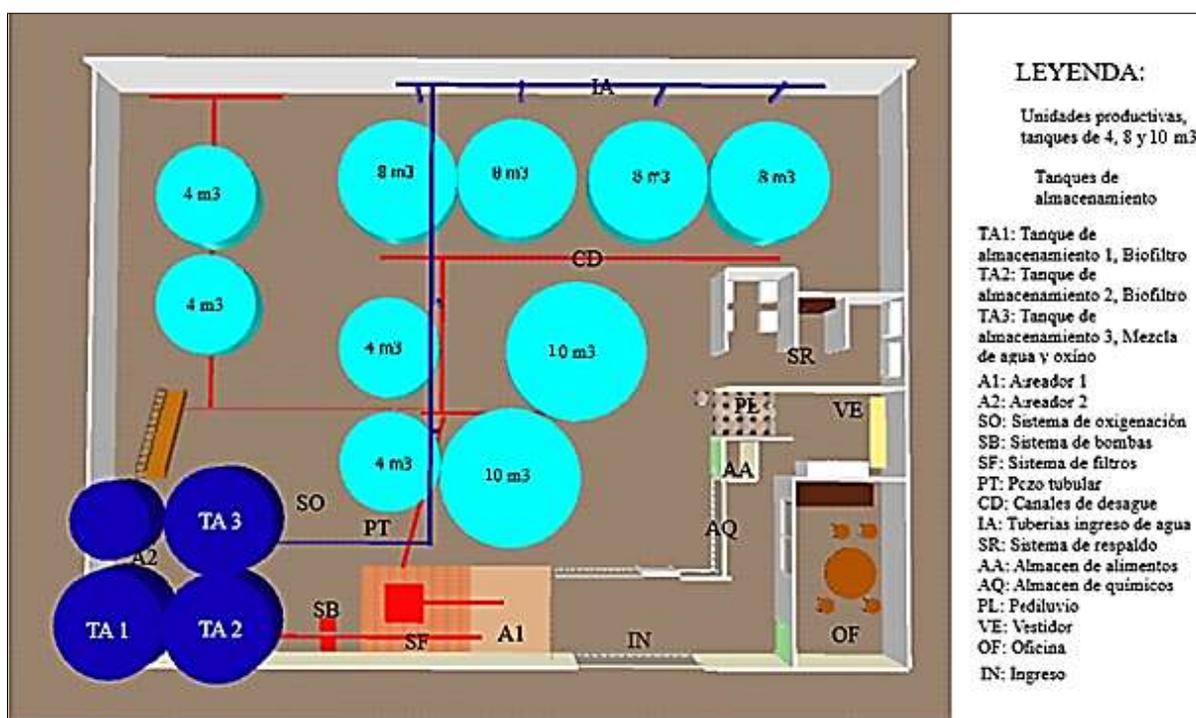
### **III. DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1. Ubicación y periodo**

La empresa Acuisolutions S.A.C. desarrolló e inició las operaciones del RAS en el 2018, siendo esta la primera empresa RAS en el cultivo de truchas en el Perú con fines productivos. La instalación se encuentra ubicada al lado de una planta procesadora de truchas en la ciudad de Puno, en el distrito de Salcedo a una altitud de 3827 m.s.n.m. El monitoreo del sistema y del lote de peces tuvo una duración promedio de 30 días.

#### **3.2. Funcionamiento del RAS**

El funcionamiento del RAS se inicia con la captación del agua de una fuente natural subterránea (pozo) la cual ingresa al sistema de recirculación (tanque de almacenamiento N°3), asimismo, el agua limpia tratada por el filtro rotatorio proveniente de los tanques de peces es incorporada en el sistema donde están los tanques de almacenamiento N°1 y N°2 en el cual se ubica el filtro biológico compuesto por mallas gruesas de ½ pulgada, suspendidas y acondicionadas. Seguidamente, el agua pasa al tanque de almacenamiento N°3 donde se inyecta oxígeno hasta lograr 200 ppm de saturación. Luego, el agua pasa por el equipo UV el cual permite la esterilización de los microorganismos. Posteriormente, el agua es distribuida por un sistema de tuberías elevado a los diferentes tanques con peces y su retorno al inicio del sistema. El sistema permite la reutilización del agua al 75%.



**Figura 3: Distribución del sistema de recirculación acuícola para truchas.**

### 3.3. Experiencia y aporte profesional en los trabajos realizados

Los conocimientos adquiridos durante toda la etapa universitaria, especialmente aquellos cursos adquiridos durante la formación profesional, han servido en el desarrollo de habilidades y criterios personales para la toma de decisiones en el trabajo desde el egreso y específicamente en la implementación, desarrollo y puesta en marcha del sistema RAS para la producción de alevines de truchas en Puno.

- **Recepción de Alevines**

En esta etapa se ingresan los alevines de peso promedio por encima de 0.80 g de otros centros de producción, se descargan los peces mediante diferencia de presión a los tanques de producción los cuales están previamente desinfectados y acondicionados con nivel bajo de agua y oxígeno 85%

de saturación. Terminada la descarga se realiza el muestreo de peso y calidad de peces, en donde se evalúa principalmente el peso promedio, peces con signología o síntomas de enfermedades, la transparencia del agua y porcentaje de saturación con que llegaron los peces en este trabajo se utiliza criterios relacionados a los cursos aprendidos en sanidad pesquera y cultivo de especies en aguas frías.

- **Manejo de la calidad del agua**

El sistema RAS requiere tener un buen entendimiento de los procesos bioquímicos que se dan en el agua de manera que evitemos riesgos en el bienestar de los peces y por consiguiente en la producción. En esta parte, involucra los criterios de medición y análisis de calidad de agua aprendidos; aquellos parámetros básicos de la calidad de agua para la supervivencia de la trucha como la temperatura y el oxígeno (Timmons *et al.*, 2009); para la medición de estos parámetros se utilizó un equipo Oxiguard. Siendo este un RAS, también se considera medir los niveles de amonio, nitrito, nitrato y pH; para la medición de estos se utilizaron test de kits químicos y un potenciómetro respectivamente. Los lugares estratégicos de medición son los puntos de ingreso y salida del agua en las unidades de cultivo, y en el biofiltro.

- **Alimentación**

Uno de los principales factores determinantes en el éxito productivo de peces es el crecimiento de los peces y este depende sustancialmente del tipo, ración y calibre del alimento, forma y frecuencia de la alimentación de los peces (Morales, 2004). Se estima la ración de alimento a través de la tasa específica de alimentación (SFR) (Timmons *et al.*, 2002) considerando la biomasa de peces y la tasa de alimentación apropiada (esta se obtiene inicialmente de una tabla de alimentación recomendada por la marca de alimento). El calibre de alimento a suministrar varía dependiendo del peso promedio de los peces, es decir, para peces pequeños corresponde un calibre de menor tamaño como 1 mm. La entrega del alimento en el tanque debe permitir que gran cantidad de alimento se mantenga en la superficie del agua evitando que se hunda rápidamente. Para la cantidad, calibre y frecuencia de alimento se debe considerar si los peces presentan estrés, enfermedades, alta o baja

dispersión de peso promedio. Para este sistema se trabajó con un alimento extruido, alto en proteínas y bajo en almidón de lento hundimiento. En este manejo se aportó lo aprendido en las clases de nutrición y alimentación de organismos acuáticos y la experiencia en otros centros de cultivo, ya que cada centro requiere evaluar el alimento, la forma de alimentar y las tablas de alimentación del propio centro productivo.

- **Biometrías**

Las biometrías estiman el crecimiento de los peces, con ello estimamos los indicadores de producción, proyectamos el crecimiento y programamos la venta de los peces. Por lo que, realizar las biometrías de forma correcta nos ayudara a tomar mejores decisiones en la producción. La biometría es un proceso muy rápido desde que se empieza a manipular los peces ya que si se tarda en ello los peces podrían verse estresados lo cual desencadenaría enfermedades y posterior a ello altas mortalidades. Con un colador grande se toma una muestra representativa y al azar de los peces de un tanque, se sumerge los peces en una solución de agua con isoeugenol y luego de unos segundos se procede a pesar los peces individualmente en una balanza gramera. Se registran los datos de pesos y luego se devuelven los peces al estanque. La muestra debe contener al menos 200 unidades de peces. Posteriormente los datos son ingresados al computador donde se analizan las principales medidas estadísticas de una muestra.

- **Evaluación de los indicadores de producción**

El centro de producción utiliza indicadores productivos para estimar el crecimiento de los peces como la tasa de crecimiento específico (SGR) que es el porcentaje de peso ganado por día y el factor de condición (K) que es la relación peso – longitud. Estos indicadores de crecimiento se evalúan en conjunto con los indicadores de alimentación como el SFR, la tasa de conversión de alimento (FCR) (Timmons *et al.*, 2002).

### **3.4. Contribución en la solución de situaciones problemáticas**

#### **a) Problema antes de la implementación**

Antes de la implementación del RAS el centro productivo utilizaba agua extraída directamente del pozo para el cultivo sin ningún tipo de tratamiento. Dada la ubicación del centro, al lado de una planta procesadora de truchas, presentaba una fuente de contaminación directa para el agua de cultivo, la infiltración del agua usada por la planta no permitía obtener buenos indicadores productivos. Por ello, se recomendó trabajar con un RAS, para esto se dispuso evaluar las ventajas de la aplicación del modelo en tal ubicación.

#### **b) Problema en la puesta en marcha**

La creación de una planta de producción basada en la tecnología RAS corresponde una alta inversión inicial en equipos y materiales de última tecnología, asimismo los recursos energéticos son muy elevados, por ende se buscó obtener mayores ganancias incrementando el volumen de producción sin afectar el sistema. Para ello se propuso estimar la capacidad máxima de producción que permita el funcionamiento eficiente del sistema obteniendo buenos indicadores productivos. Ello implicaba evaluar básicamente dos factores:

1. El adecuado funcionamiento del biofiltro por ser un factor determinante de la capacidad productiva en un RAS. Sin embargo, es complicado poder cuantificar la capacidad del biofiltro ya que fue construido con materiales en desuso. Por ello, se evaluó la dinámica de los parámetros fisicoquímicos del agua.
2. Los resultados de los indicadores productivos que reflejan la performance de los peces y por ende, el buen funcionamiento del sistema.

Inicialmente se monitorearon los principales parámetros físicos químicos del agua en puntos estratégicos en el cual pudiera reflejar los cambios por el aumento de volumen producido. Luego, se midió en los tanques de peces a lo largo de toda la producción, conjuntamente al monitoreo, se estimó la tasa de renovación del agua y se realizó el manejo sanitario de los peces, esto como medida adicional para vigilar el bienestar de los peces. Posteriormente, se determinó y evaluó los principales indicadores de producción de 3 grupos de peces.

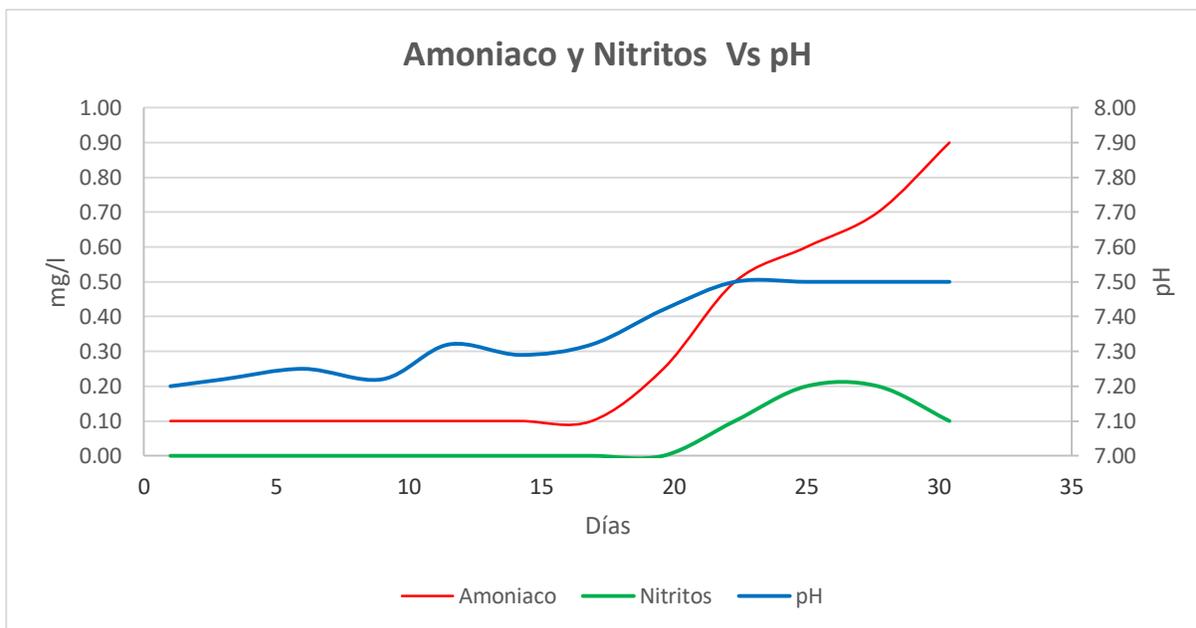
- **Parámetros fisicoquímicos**

**Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos del agua al intermedio de la producción**

Parámetros	Oxígeno % Saturación *	Temperatura °C	Amoniaco mg/l	Nitritos mg/l	pH
Pozo	71%	15.1	0.01	0.00	7.20
Biofiltro	92%	15.5	0.50	0.10	7.20
Estanque 5	86%	15.6	0.10	0.00	7.29
Estanque 6	89%	15.7	0.10	0.00	7.22
Estanque 7	88%	15.5	0.10	0.00	7.32

\* A 3827 m.s.n.m. 100% de saturación de oxígeno equivale a 6.5 mg/l. Niveles de amoniaco y nitritos (Anexo 1 y 2).

La tabla 1 expone los resultados en donde no se muestran muchas diferencias de temperatura y pH. La temperatura del agua en promedio es 15.5 °C, el agua de pozo presenta la más baja temperatura, 15.1°C y la más baja saturación de oxígeno, 71%. En todos los puntos el pH del agua se encuentra dentro del rango recomendado (Bregnballe, 2015). En el biofiltro la concentración de nitritos es de 0.10 mg/l y la de amoniaco es elevado (0.5 mg/l) esto es debido a que en el biofiltro se concentra mayores niveles de amonio proveniente de las unidades productivas, mientras en estas últimas el agua ingresa con un nivel máximo de 0.10 mg/l.



**Figura 4: Relación entre concentraciones de amoniac, nitritos y pH en el transcurso de toda la producción del lote de peces.**

En la figura 4 se muestra la dinámica que presentan los parámetros de amoniac, nitritos y pH en el transcurso de la producción de truchas. Se observa que en los días iniciales de la producción el pH se mantiene en 7.2 y la concentración de amoniac es mínima 0.10 mg/l, mientras que la de nitritos es todavía nula. A partir del día 17 la concentración del amoniac empieza a aumentar y el pH va incrementando ligeramente. Para el día 22 las concentraciones de amoniac y nitritos son considerables (0.50 mg/l y 0.10 mg/l respectivamente), y el pH llega hasta un valor máximo de 7.50. A partir del día 25 el nivel de nitrito llega a su máximo de 0.20 mg/l y la concentración de amoniac continúa en aumento hasta llegar a 0.9 mg/l. Es muy probable que la relación de parámetros para los últimos días antes de la cosecha se halla dado de esa manera por el incremento de biomasa producida, desde 1500 a 2000 kg. Cabe resaltar que para este lote de producción el filtro biológico ya estaba en funcionamiento desde hace 6 meses.

- **Tasa de recambio hidráulica:**

En el periodo productivo los peces crecen y demandan mayor cantidad de alimento, esto genera mayor concentración de nitrógeno amoniacal (NAT) en el agua producto del metabolismo de los peces, es por ello que paralelo al monitoreo de la calidad de agua se fue incrementando con mayor frecuencia la renovación de agua, hasta llegar al 25% de renovación, conforme se fue incrementando la biomasa cultivada tal como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2: Tasa de recambio hidráulico en función de la concentración de amonio**

Biomasa kg	Tasa de recambio	Monitoreo de amonio mg/l
320	14%	0.1
1110	15%	0.25
1180	17%	0.5
1550	21%	0.7
1970	25%	0.9

- **Control sanitario de los peces**

Otra medida paralela al monitoreo de la calidad de agua, fue la evaluación sanitaria de los peces. La evaluación consistía en examinar básicamente los órganos del pez que son afectados por exposición a una baja calidad de agua. Los órganos revisados fueron principalmente: el opérculo, las branquias y las lamelas branquiales, y de vez en cuando se revisaba el estado de los órganos internos.

**Tabla 3: Control sanitario de los órganos respiratorios**

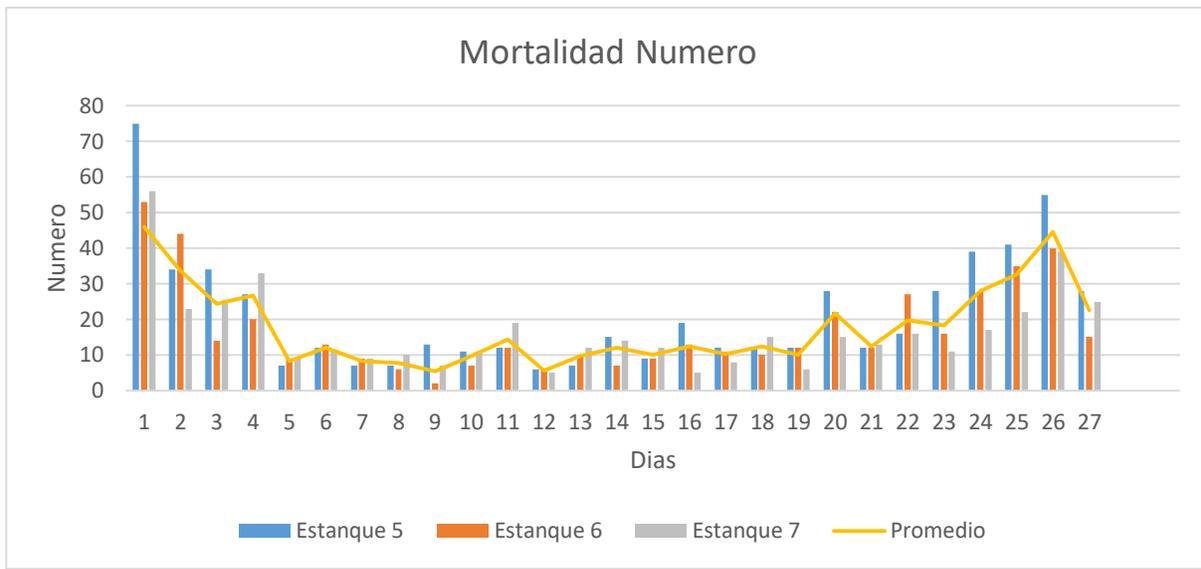
<b>Estado</b>	<b>Opérculo*</b>	<b>Branquias y lamelas branquiales</b>
<b>Inicio</b>	10% corto bilateral, 90% normal	Branquias expuestas 10% y lamelas branquiales normales
<b>Antes del tratamiento</b>	15% corto bilateral, 85% normal	Branquias expuestas 15% y lamelas branquiales inflamadas
<b>Después del tratamiento</b>	15% corto bilateral, 85% normal	Lamelas branquiales desinflamadas
<b>Final</b>	15% corto bilateral, 85% normal	Lamelas branquiales desinflamadas

\* Imágenes de peces examinados (Anexo 3 y 4).

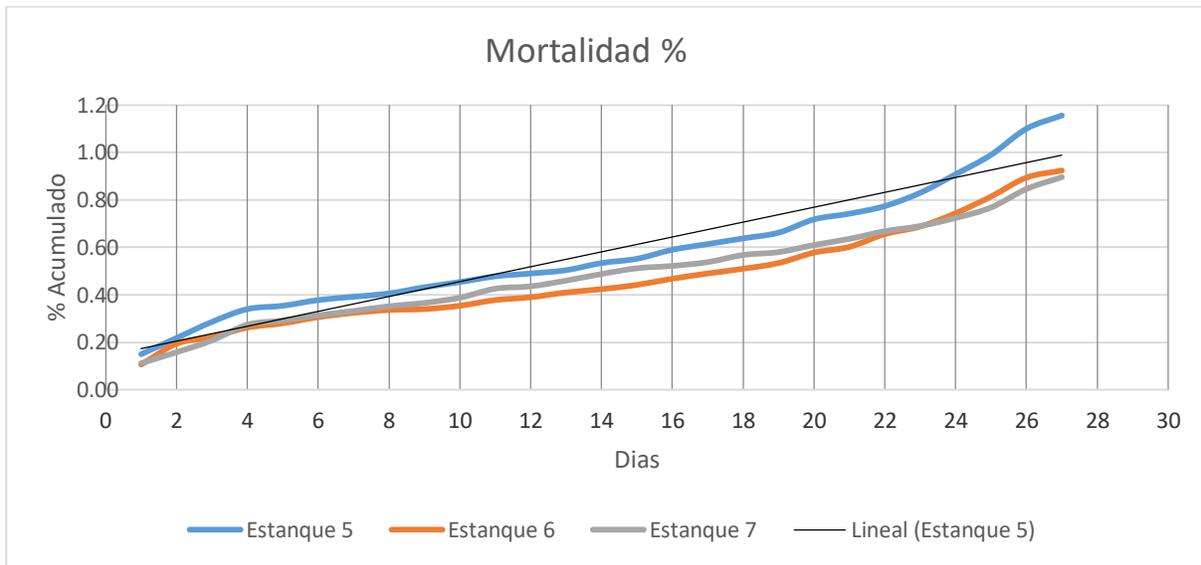
- **Indicadores de producción**

**Mortalidad:**

La mortalidad total expresada en porcentaje para cada grupo de peces fue de: tk5 1.16%, tk6 0.92% y tk7 0.90%, esto representa 1488 unidades como mortalidad. La figuras 5 muestra la mortalidad diaria expresada en número, se observa claramente que hay mayor mortalidad al ingreso de alevines y pasado el día 20 en el que incrementan los niveles de amonio, a pesar de ello la mortalidad expresado en porcentaje diario no excede de 0.15%. La figura 6 muestra que la mortalidad presenta una gráfica con tendencia lineal. Dichos resultados son aceptables para la producción ya que no involucran pérdidas considerables en biomasa y consigue continuar la planificación de producción y cosecha.



**Figura 5: Mortalidad del lote de peces expresado en cantidad numérica.**

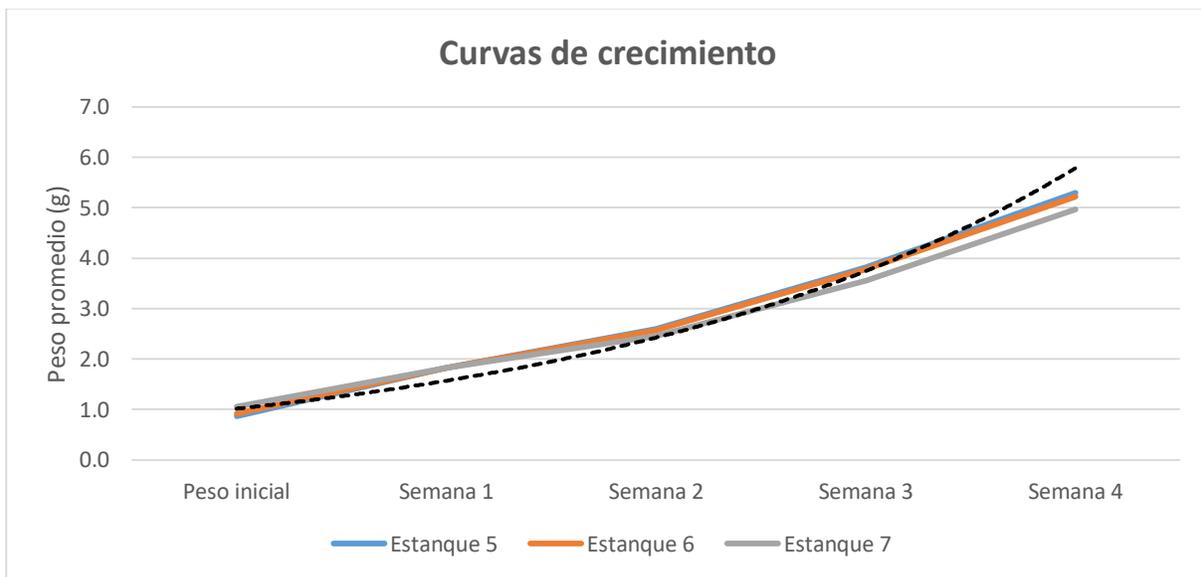


**Figura 6: Mortalidad del lote de peces expresado en porcentaje.**

Los tanques evaluados (5, 6 y 7), presentan valores de mortalidades casi similares, sin embargo un tanque específico (N°5), presenta mortalidad ligeramente elevada y esto puede deberse a tres

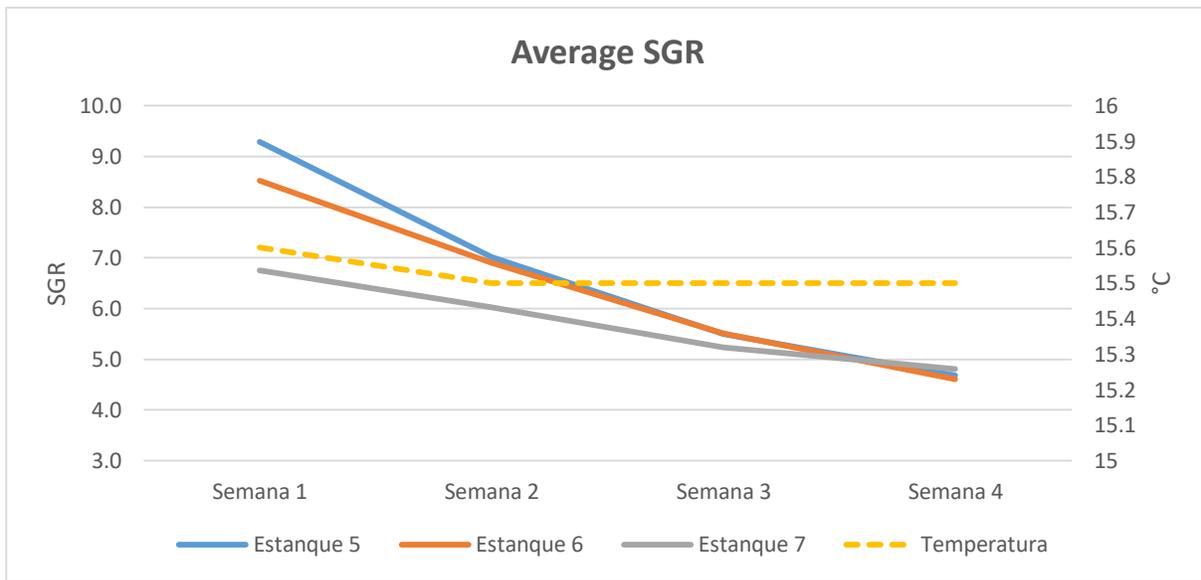
factores. Uno al tamaño reducido de los peces sembrados, en este tanque ingresaron los peces más pequeños de 0.87 g, es probable que no se hallan aclimatado muy bien fisiológicamente. El segundo factor pudo ser la mayor densidad de cultivo al que se expuso este grupo debido a que su tasa de crecimiento a lo largo de todo el periodo fue mayor que los demás. Y el tercer factor fue debido a que los niveles de amonio aumentaron lo que pudo haber generado estrés en los peces.

### Crecimiento:



**Figura 7: Curvas de crecimiento.**

La figura 7 nos muestra las curvas de crecimiento de los alevines de truchas (*Orconhynchus mykiss*) las cuales fueron estimadas a partir de la data de peso promedio de cada tanque y se determinó que los peces cultivados a partir de 0.87 g crecieron más rápido que los de 1.06 g, llegando a obtener valores altos de SGR 9.29 y el mínimo de 6.76 respectivamente para la primera semana de cultivo.

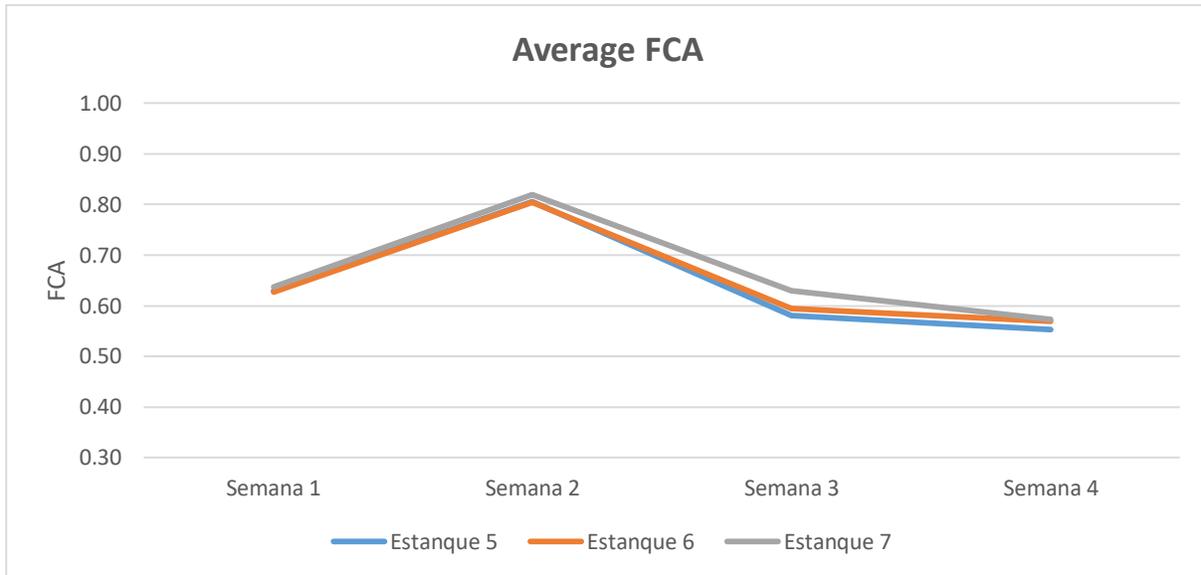


**Figura 8: Relación entre SGR y temperatura del agua.**

En la figura 8 se observa que los valores de SGR iniciales son altos, esto debido a que son alevines pequeños de 0.8 g que destinan la energía principalmente al crecimiento, luego se observa una disminución gradual de la tasa de crecimiento debido a que la energía destinada a la mantención del pez se incrementa conforme crecen los peces.

También se muestra que los alevines de truchas cultivadas a temperatura cercana a 15 °C promedio nos proporciona un crecimiento acelerado en menos tiempo, una muestra de ello son los valores altos del SGR obtenidos (9.29, 8.53, etc.).

## Alimentación:



**Figura 9: Factor de conversión alimenticia del lote de peces.**

En la figura 9 se observa que los FCA presentan valores muy similares sin llegar al valor 1, dado que si sucede este último se estaría incurriendo en la pérdida del alimento ya que el alimento suministrado no se estaría convirtiendo en masa corporal.

### 3.5. Análisis de la propuesta

#### a) Ventajas y desventajas para la aplicación del RAS en Puno

Este modelo RAS permite planificar un aumento en la producción en los periodos más beneficiosos del año, esto debido a que el sistema establece un alto nivel de control ambiental (Timmons *et al.*, 2002).

El RAS disminuye el riesgo a la introducción de enfermedades ya que el sistema realiza el tratamiento y la desinfección del agua, mientras que en el sistema anterior o convencional se utiliza agua sin ningún tipo de tratamiento.

Otra ventaja es que es sostenible ambientalmente ya que presenta un reducido efluente que en contraste con los cultivos de sistemas abiertos desechan la misma cantidad de agua utilizada. Sin embargo, este modelo RAS utiliza y es dependiente de la energía eléctrica (Samuel *et al.*, 2013).

Una ventaja de que este centro productivo esté ubicado en la ciudad de Puno es su proximidad a los proveedores, al mercado y operar lejos de las comunidades de manera que permite producir sin ningún tipo de conflicto social y en constante diálogo con nuestro principal comprador.

Uno de los inconvenientes para la aplicación del modelo RAS, básicamente en Puno, es el requerimiento de profesionales o personal calificado ya que carecen de conceptos y formación técnica. Flores y Yapuchura (2016) afirman que “En la región de Puno predomina la rutina empírica de actividad truchícola” y eso, en base a mi experiencia, se debe en gran medida a que la mayoría de cultivos convencionales de la zona son dirigidos por personas sin formación técnica ya que en sus centros no utilizan equipos básicos como oxímetro o sistemas de filtros, no cuentan con programas de planificación de producción ni de prevención o corrección de enfermedades de los peces. Sin embargo, todo ello puede tomarse como un punto por el cual partir para lograr un mejor crecimiento de la acuicultura en la región.

## **b) Análisis de parámetros fisicoquímicos e indicadores productivos**

- **Parámetros fisicoquímicos**

El aumento de la biomasa viva en la producción implicó aumentar el empleo del biofiltro, se observó el pH variable, valores elevados de amonio y nitrito, un comportamiento similar al de la activación del biofiltro nuevo. Sin embargo, diversos autores estiman por lo menos cuatro semanas de maduración del filtro biológico según Gallego y García (2017), Avnimelech (2015), García *et al.* (2011) y Colt *et al.* (2006). También se debe considerar que si bien es cierto los niveles de amonio no excedieron el límite (1 mg/l) tampoco disminuyeron y además, este biofiltro ya se encontraba operando 6 meses por lo que ya estaba activado.

En virtud de lo anterior, se puede presumir que el filtro biológico se haya modificado ligeramente para producir 2000 kg en biomasa de peces. El tiempo que tarda para llegar a madurar se debe principalmente; a la temperatura del agua el cual estuvo a 15.5 °C, al pH del agua que se mantuvo entre 7.0 a 7.5, lo cual desarrolla una alta tasa de bacterias nitrificantes (Bregnballe, 2015) sin modificar otros nutrientes del agua como el NH<sub>3</sub> (Wedemeyer, 1996) y a la concentración de nutrientes del biofiltro el cual varía de acuerdo a la biomasa de peces cultivada (García *et al.*, 2011). También, se debe considerar la actividad microbiana en la biopelícula debido a que en un momento dado puede existir competencia por el oxígeno entre las bacterias autótrofas y las heterótrofas el cual reduce el desempeño de la nitrificación (Michaud *et al.*, 2006; Gullian y Aramburu, 2013) debido a ello se provee de aireadores, oxigenación en ausencia de luz en este punto específico (Timmons *et al.*, 2002).

Se prescindió contar con medidores de dióxido de carbono ya que se contaba con potentes desgasificadores programados para encender rutinariamente y gracias al efecto directo que tiene el CO<sub>2</sub> en el pH y este con la toxicidad NAT (Timmons *et al.*, 2002) es que básicamente se vigilaba midiendo el pH.

- **Tasa de renovación de agua**

A medida que incremento la biomasa incrementaron los niveles de amonio en el agua por lo que se incrementó el flujo de recambio de agua, partió con 14% de renovación de agua que representa 3.33 l/s, cuando los peces solo requerían 12 kg al día y llegó a utilizar hasta un 25% es decir 5.71 l/s de consumo de agua nueva siendo este el máximo alcanzado cuando los peces ya estaban listos para la venta. Se incrementó los niveles de flujo de agua básicamente para evitar que los niveles de amonio excedan los límites permitidos (para truchas: 1 mg/l según Timmons *et al.*, 2002) que pongan en riesgo el bienestar de los peces. Este manejo realizado para mejorar la calidad del agua y vigilar el bienestar de los peces es reforzado por Obirikorang *et al.* (2022) quienes comprobaron que la variación de los flujos de agua influye significativamente en los parámetros fisicoquímicos del agua y en el crecimiento de los peces.

- **Monitoreo sanitario y tratamiento**

A medida que los niveles de amonio incrementaban la mortalidad empezó a incrementar por ello se realizó una evaluación sanitaria principalmente del órgano respiratorio responsable del intercambio gaseoso por medio del agua para la respiración, estos son los opérculos, branquias y láminas branquiales. Se encontró opérculos cortos, en algunos casos unilateral leve y en la gran mayoría bilateral leve, esta condición está en función del nivel de exposición de las branquias y se tiene como principales causas: el manejo en etapa de ovas, elevadas concentraciones de amonio, altas concentraciones de CO<sub>2</sub> en el agua, etc. (Kazlauskienė *et al.*, 2006). También se revisó las branquias las cuales presentaban cierta inflamación, es decir, las láminas branquiales estaban muy juntas lo cual interfiere en la oxigenación en los peces, este daño a nivel branquial dificulta la alimentación y el desarrollo de los alevines (Torres *et al.*, 2010).

Para contrarrestar esta situación instantáneamente se realizó tratamientos de baños con sal a los peces y la misma agua se incorporaba al sistema, esto permite cambiar la relación Cl<sup>-</sup>:NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en el agua de manera que al aumentar los niveles de cloruro en el agua reducíamos la absorción de nitrito a nivel celular en los peces (Timmons *et al.*, 2002). Acuña (2006) recomienda una concentración

mínima de 20 ppm de NaCl para prevenir la toxicidad causada por el nitrito en el agua, la concentración máxima del tratamiento con sal fue de 2.5 % por 1 hora.

- **Indicadores de producción**

Respecto a la mortalidad, la figura 5 muestra dos picos de elevada mortandad; la primera se refleja en los días posteriores a la recepción de alevines y esto sucede casi siempre debido al transporte, el cual les genera alteraciones fisiológicas producto del aumento del cortisol que reduce el sistema inmunológico y la respuesta inflamatoria en los peces (Kubitza, 2009). La segunda sucedió justo en los días en que hubo un irregular aumento de amonio y nitritos probablemente producto del incremento del empleo de la capacidad del biofiltro.

Respecto al crecimiento en términos de SGR y la temperatura de cultivo se concuerda con los estudios de Eya *et al.* (2017) quienes mencionan que cultivar a altas temperaturas (10, 14 y 18°C) tiene un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento y también con los estudios de Handeland *et al.* (2003) quienes hallaron una relación lineal entre la temperatura y la tasa de crecimiento en smolts de salmón.

Respecto a la alimentación, la figura 9 demuestra que los valores de FCA son menores a 1 y que a medida que los alevines van creciendo estos valores van incrementando. Este comportamiento se debe a que los alevines pequeños convierten de manera eficiente el alimento en peso corporal (Crampton y Sveidqvist, 2002). En mi experiencia, en este RAS obtener valores de FCA bajos o por debajo de 1 puede significar bajos niveles de desechos nitrogenados y sólidos disueltos en el agua debido a que el alimento se captura y se metaboliza eficientemente por los peces.

### 3.6. Beneficio obtenido respecto a la propuesta en contribución

Exponer algunas ventajas y desventajas para la aplicación del RAS reforzaron la intención de aplicar el modelo RAS en Puno. Los indicadores productivos fueron favorables tal como se muestra en la siguiente tabla.

En la tabla 4 se muestra el resultado de cambiar el tipo de producción de un sistema convencional a un RAS enfocado en el crecimiento de alevines hasta los 5g.

**Tabla 4: Comparación de resultados del sistema utilizado**

<b>Productividad</b>	<b>Sin RAS</b>	<b>Con RAS</b>
Mortalidad total	60.19%	0.99%
Mortalidad día	3.66%	0.20%
SGR promedio	6.1	6.2
FCA promedio	0.6	0.7
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	
máxima	10.0	35.0
Peso final	2.0	5.5

Además se puede mencionar que la aplicación del RAS contribuyó a disminuir drásticamente la mortalidad y elevar el volumen producido permitiendo una mayor oferta en cantidad y calidad de alevines para el mercado de productores de talla comercial.

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua, a su vez el manejo del sistema mediante la tasa de renovación de agua, el manejo sanitario y tratamientos con NaCl, permitió aumentar la producción a 400 mil alevines sin perjudicar el sistema RAS, logrando así maximizar la capacidad productiva del biofiltro, sin menoscabar el rendimiento productivo reflejado en los principales

indicadores de producción. Esta contribución permitió optimizar los recursos y equipos en la producción y elevar las ganancias por venta de alevines.

## IV. CONCLUSIONES

La aplicación del RAS ha demostrado ser eficiente y más productivo que el sistema convencional abierto para el cultivo de alevines de trucha arco iris (*Orconhynchus mykiss*), también ha permitido la reutilización del agua del 75% a más y una producción máxima mensual de 400 mil alevines.

La evaluación de los principales parámetros fisicoquímicos del agua y su interrelación demuestran que todo el sistema en marcha (biofiltro, filtro mecánico, saturador de oxígeno y desgasificadores) se monitorea y controla de manera adecuada.

La evaluación de los indicadores productivos permitió concluir que el sistema RAS de truchas es productivamente competente, y se obtiene un mayor logro del crecimiento en menor tiempo, alta supervivencia y alimentación eficiente.

## V. RECOMENDACIONES

El sistema de oxigenación utilizado es altamente demandante de oxígeno y esto supone un alto costo. La pandemia Covid-19 dejó muchas lecciones entre ellas priorizar la salud humana ante la productiva de peces, es por ello, que se vio una alternativa de crear un sistema de generación de oxígeno automatizado, mediante la implementación de un equipo de nanoburbujas y un generador de oxígeno in situ, sumado a esto el desarrollo de un software e instalación de un control automatizado del oxígeno de manera que reduzca el uso de oxígeno puro. Esto se ha puesto en marcha a inicios del año 2022.

El sistema de desinfección del agua limpia podría ser mucho más eficiente adicionando el uso del ozono justo antes del ingreso del agua usada al filtro rotatorio, ya que además de eliminar patógenos también mejora la calidad del agua oxidando nitritos (Krumis *et al.*, 2000), disminuyendo la turbidez y el olor. Otro aporte del uso combinado es que la luz UV elimina el ozono residual del agua tratada.

El principal efecto ambiental producido por el RAS es el calentamiento global producto del alto uso de la energía eléctrica (Samuel *et al.*, 2012), esto puede verse reducido, incorporando el uso de energía solar a través de paneles fotovoltaicos (PRODUCE, 2021) ya que en esta zona altoandina de Puno se cuenta con un fuerte aporte de radiación solar todo el año.

En la curricula de estudios de la facultad de pesquería se recomienda innovar con temas donde se aplique tecnologías acuícolas de alto impacto a nivel mundial, como es el desarrollo y la aplicación de técnicas de cultivo en sistemas de recirculación (RAS) a través de sus componentes tales como: sistemas de filtros biológicos, rotatorios y de oxigenación (conos, generadores y nanoburbujas); equipos UV, alimentadores semiautomáticos, contadores y seleccionadores de peces, etc. Todo ello permitirá a la especialidad de acuicultura formar estudiantes que estén más preparados para resolver cualquier situación problemática tecnológica.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aatland, A. y Bjercknes, V. 2009. Calidad de agua para el cultivo de smolts en Chile. NIVA Chile. 139.

Acuña, F. 2006. El uso de la sal de mesa en acuicultura. Sociedad Acuariologica del Plata. Recuperado de: <http://www.sadelpata.org/>

Avnimelech, Y. 2015. Biofloc Technology - A Practical Guide Book. (3rd Edition). The World Aquaculture Society.

Beckea, C., Schumanna, M., Steinhagenb, D., Geistc, J., y Brinkera, A. 2018. Physiological consequences of chronic exposure of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to suspended solid load in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 484. 228–241. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.11.030>

Becke, C., Steinhagen, D., Schumann, M. y Brinker, A., 2017. Physiological consequences for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) of short-term exposure to increased suspended solid load. *Recirc. Aquac. Syst.* III 78, 63–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.11.001>.

Bergheim, A., Gausen, M., Næss, A., Hølland, P., Krogedal, P. y Crampton, V. 2006. A newly developed oxygen injection system for cage farms. *Aquacultural Engineering* 34. 40–46. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.04.003

Bregnballe, J., (2015). A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH. <https://doi.org/92-5-105177-1>

Colt, J., Lamoureux, J., Patterson, R. y Rogers, G. 2006. Reporting standards for biofilter performance studies. *Aquacultural Engineering*. 34(3), 377–388. <https://doi:10.1016/j.aquaeng.2005.09.002>

Crampton, V. & Sveidqvist, P. (2002). Manual práctico del alimento para Jefes de centros de mar de salmón y truchas. EWOS innovation Spa. 64.

Eya, J., Yossa, R., Perera, D., Okubajo, O., Gannam, A. 2017. Combined effects of diets and temperature on mitochondrial function, growth and nutrient efficiency in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*. doi:10.1016/j.cbpb.2017.06.010

Espino, E., González, A., Santana, H. y González, H. 2008. Manual de biología pesquera. 131. Recuperado de: <https://inapesca.gob.mx/portal/Publicaciones/Manuales/2008-Espino-Barr-et-al-Manual-de-BIOLOGIA-PESQUERA.pdf>

Flores, E. y Yapuchura, A. 2016. Formación de clústers de productores de trucha y la articulación con el mercado objetivo en la región de Puno – Perú. *comuni@cción*. 7(1).

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). 2014. Manual de crianza de Truchas: en ambientes convencionales. 57.

Gallego, I. y García, D. 2017. Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. Universidad autónoma del estado de México. *Tecnología y ciencias del agua*. 8(1), 81-93. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-06>

García, D., Gallego, I., Díaz, C., Fall, C. y Burrola, C. 2011. Evaluación de un sistema de recirculación y acondicionamiento de agua en truiticultura. Universidad Autónoma del Estado de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 2(2), 83-96.

Gullian, M. y Arámburu, C. 2013. Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture system with low wáter. *Aquatic. Research*. 41(1). 150-162. DOI: 103856/vol41-issue1-fulltext-12

Handeland, S., Bjo`rnsson, B., Arnesen, A. y Stefansson, S. 2003. Seawater adaptation and growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) of wild and farmed strains. *Aquaculture* 220 (2003). 367–384.

Kazlauskienė, N., Leliūna, E. y Kesminas, V. 2006. Peculiarities of Opercular malformations of Salmon (*Salmo Salar* L.) Juveniles Reared in the Žeimena Salmon Hatchery. *Acta Zoológica Lituanica*, 16:4, 312-316. DOI: 10.1080/13921657.2006.10512747

Krumis, V., Ebeling, J. y Wheaton, F. 2000. Ozone dose and equilibrium TOC in recirculation systems. University of Maryland. Proceedings of the third international conference on recirculating aquaculture. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/242129366\\_Ozone\\_Dose\\_and\\_Equilibrium\\_TOC\\_in\\_Recirculating\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/242129366_Ozone_Dose_and_Equilibrium_TOC_in_Recirculating_Systems)

Kubitza, F. 2009. Manejo en la producción de peces: Buenas prácticas en el transporte de peces vivos. Panorama da Aquicultura.

Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 43, 83–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>.

Michaud, L., Blancheton, J. P., Bruni, V. y Piedrahita, R. 2006. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacultural Engineering*. 34(3). 224-233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.07.005>

Ministerio de la Producción. 2021. Desarrollo acuícola 2021. Dirección general de acuicultura.

Ministerio de la Producción. 2019. Anuario estadístico pesquero y acuícola 2018. Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos.

Morales, G. (2004). Crecimiento y eficiencia alimentaria de truchas arco iris (*Orconhynchus mykiss*) en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación. (Ingeniero, Universidad de Buenos Aires). Recuperada de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2219-71682018000100007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682018000100007)

Obirikorang, K., Opoku, E. y Gyampoh, B. (2022). Feed digestion, growth and disease prevalence in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured at different water exchange rates in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture Studies*, 22(3). AQUAST565. <http://doi.org/10.4194/AQUAST565>

Samuel, B., Nagel, F., Meyer, S., Schroeder, J. y Schulz, C. 2012. Comparative life cycle assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquacultural Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.12.002>

The Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM). 2012. Risk Assessment of Recirculation Systems in Salmonid Hatcheries. <https://vkm.no/english/riskassessments/allpublications/riskassessmentofrecirculationsystemsinsalmonidhatcheries.4.72c3261615e09f2472f46f9b.html>

Timmons, M., Ebeling, J., Wheaton, F., Summerfelt, S. y Vinci, B. 2002. *Sistemas de recirculación para la acuicultura*. Fundación Chile.

Timmons, M., Ebeling, J. y Piedrahita, R. 2009. *Acuicultura en sistemas de recirculación*. Cayuga Aqua Ventures, LLC. 959.

Torres, G., Gonzales, S. y Peña, E. 2010. Descripción anatómica, histológica y ultraestructural de la branquia e hígado de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Int. J. Morphol.*, 28(3):703-712, 2010.

Wedemeyer, G.1996. *Physiology of fish in intensive culture systems*. Editorial Internacional Thomson. DOI 10.1007/978-1-4615-6011-1

## ANEXOS

### ANEXO 1: Monitoreo de niveles de nitrito



### ANEXO 2: Monitoreo de niveles de amoniac



**ANEXO 3:** Control sanitario de peces, opérculos y branquias expuestas



**ANEXO 4:** Control sanitario de peces, órganos internos

