

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA
MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERIA



**“MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE TRUCHA ARCOIRIS
(*Oncorhynchus mykiss*) SUMINISTRANDO OXÍGENO MEDIANTE
SISTEMA DE MICROBURBUJAS EN RACEWAYS
PARA LA ETAPA DE ENGORDE”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO**

WILFREDO ARNOL SOTO LÓPEZ

LIMA-PERÚ

2024

Mejoramiento productivo de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) suministrando oxígeno mediante sistema de microburbujas en raceways para la etapa de engorde

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.macrothink.org

Fuente de Internet

<1%

2

orgprints.org

Fuente de Internet

<1%

3

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

4

worldwidescience.org

Fuente de Internet

<1%

5

www.scielo.org.mx

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to University of Stirling

Trabajo del estudiante

<1%

7

link.springer.com

Fuente de Internet

<1%

8

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA

**“MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE TRUCHA ARCOIRIS
(*Oncorhynchus mykiss*) SUMINISTRANDO OXÍGENO MEDIANTE
SISTEMA DE MICROBURBUJAS EN RACEWAYS
PARA LA ETAPA DE ENGORDE”**

Presentada por:

WILFREDO ARNOL SOTO LÓPEZ

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de:

INGENIERO PESQUERO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

M. Sc. Anibal Severo Verástegui Maita
Presidente

Dr. Wilfredo Lorenzo Vásquez Quispesivana
Miembro

Mg. Sc. Elsa Victoria Vega Galarza
Miembro

M. Univ. Fernando Santiago Galecio Regalado
Asesor

Lima-Perú

2024

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Marcelino y Lourdes, por su apoyo incondicional, consejos y motivaciones en el transcurso de mi vida, para lograr ser un gran profesional. También va dedicado a mi abuelita Juliana, que siempre estuvo conmigo en todo momento, brindándome el cariño y apoyo necesario para lograr llegar hasta este momento.

AGRADECIMIENTO

A la empresa Piscifactoria Peña S.A.C., por el apoyo en la realización de la parte experimental del trabajo y apostar por seguir innovando y desarrollando más investigaciones en la acuicultura.

A mi asesor, MSc. Fernando Galecio Regalado por sus consejos, recomendaciones y predisposición en todo momento que fueron fundamentales para materializar el presente trabajo.

Al Ing. Mario López, por su apoyo incondicional y predisposición para atender siempre mis dudas y brindarme los consejos claves en el rubro de la acuicultura.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Problemática.....	1
1.2.	Objetivos	2
1.2.1.	Objetivo general	2
1.2.2.	Objetivos específicos	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Especie en estudio: Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>)	3
2.2.	Clasificación taxonómica	3
2.3.	Parámetros de calidad de agua para el cultivo de trucha arcoíris.....	4
2.3.1.	Temperatura:	4
2.3.2.	Oxígeno disuelto:	5
2.3.3.	Potencial de hidrógeno (pH)	5
2.3.4.	Compuestos Nitrogenados	5
2.3.5.	Sólidos suspendidos totales	6
2.4.	Estanques o canales de flujo continuo (“Raceways”).....	7
2.5.	Parámetros productivos	8
2.6.	Sistema de aireación y oxigenación.....	9
2.6.1.	Sistema de inyección de oxígeno mediante microburbujas	10
2.6.2.	Composición del sistema “generador de microburbujas”	11
III.	DESARROLLO DEL TRABAJO.....	13
3.2.	Ubicación y periodo	13
3.2.	Funcionamiento del sistema de oxigenación.....	14
3.2.1.	Compresor y tanque para aire comprimido	15
3.2.2.	Variador de frecuencia	16
3.2.3.	Secador de aire	16
3.2.4.	Línea de filtros.....	17
3.2.5.	Generador de oxígeno	17
3.2.6.	Tanques para oxígeno	18
3.2.7.	Difusores de cerámica de microburbuja	18
3.3.	Contribución en la solución de situaciones problemáticas.....	19
3.3.1.	Problema antes de la implementación	19
3.3.2.	Problema en la puesta en marcha	20

3.4. Análisis de la contribución	21
3.4.1. Recepción y siembra de alevines	22
3.4.2. Selección por tallas	22
3.4.3. Medición de parámetros fisicoquímicos	23
3.4.4. Biometrías	24
3.4.5. Limpieza y mantenimiento de difusores de cerámica	25
3.4.6. Evaluación de indicador	26
3.5. Beneficio obtenido por el centro piscícola	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Parámetros fisicoquímicos	28
4.1.1. Temperatura	28
4.1.2. Oxígeno disuelto	29
4.1.3. pH.....	31
4.2. Indicadores productivos.....	32
4.2.1. Incremento de peso y biomasa	32
4.2.2. Tasa de crecimiento específico (SGR)	34
4.2.3. Factor de conversión alimenticia (FCA)	36
4.2.4. Factor de condición (K)	37
4.2.5. Coeficiente de variación.....	38
4.2.6. Tasa de supervivencia	40
4.3. Costos y presupuestos.....	41
4.3.4. Presupuesto para la implementación del sistema generador de oxígeno	41
4.3.5. Utilidad en la producción del ensayo de prueba.....	42
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIONES	46
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consolidado de promedio de nivel de oxígeno en Estanques	30
Tabla 2: Datos generales de siembra de truchas con y sin inyección de oxígeno en MB.....	32
Tabla 3: Consolidado datos de crecimiento E-46 y E-47	33
Tabla 4: Peso promedio (g) por fechas de muestreo de truchas arcoíris (O. mykiss).	34
Tabla 5: Valores de Tasa específica de crecimiento (SGR) promedios acumulados obtenidos.....	35
Tabla 6: Valores de factor de conversión alimenticia (FCR) promedios acumulados obtenidos.....	36
Tabla 7: Valores de factor de condición (K) promedio	37
Tabla 8: Valores de Coeficiente de Variación (CV) promedio.....	39
Tabla 9: Valores de Tasa de supervivencia (%)	40
Tabla 10:Cronograma de desembolsos.....	42
Tabla 11:Presupuesto total del subproyecto	42
Tabla 12:Utilidad neta de producción	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista aérea de un sistema de producción tipo raceways	7
Figura 2: Sistema de generación de oxígeno	12
Figura 3: Centro de cultivo de la empresa piscifactoría Peña S.A.C.	13
Figura 4: Organigrama de la empresa Piscifactoría Peña S.A.C.	14
Figura 5: Equipos y materiales del sistema de generación y distribución de oxígeno. 1: Compresor GA18 montado sobre tanque de aire/2: Variador de frecuencia/3: Secador de aire/4: Línea de filtros/5: Generador de oxígeno/6: Tanques para almacenamiento de oxígeno/	15
Figura 6: A: Vista planta del sistema piloto de distribución de oxígeno en estanques. /B: Materiales y accesorios varios para el acondicionamiento de las estructuras del sistema de distribución de oxígeno. /C: Tuberías y válvulas de la red de distribución.	19
Figura 7: Recepción y siembra de alevines. 1: Registro de parámetros físicoquímicos/2: Extracción de alevines hacia estanques/3: Estanques habilitados para siembra.	22
Figura 8: Selección por tallas	23
Figura 9: Medición de parámetros físicoquímicos a la salida del estanque	24
Figura 10: Realización de biometrías	25
Figura 11: Mantenimiento y limpieza de difusores de cerámica	26
Figura 12: Comparación de temperaturas promedio para E-46 y E-47	28
Figura 13: Promedio de OD (mg/L) (Ingreso y Salida) del E-46 y E-47	29
Figura 14: Variación promedio, respecto al ingreso y salida de E-46 y E-47	30
Figura 15: Promedio de PH, E-46 y E-47	31
Figura 16: Incremento de pesos promedios (g) de truchas arcoíris (O. mykiss) con y sin inyección de oxígeno en MB	34
Figura 17: Comparación de SGR obtenido en truchas arcoíris (O. mykiss) con y sin inyección de oxígeno en MB.	35
Figura 18: Comparación de FCR obtenido en truchas arcoíris (O. mykiss) con y sin inyección de oxígeno en MB.	37
Figura 19: Comparación de Factor K obtenido en truchas arcoíris (O. mykiss) con y sin inyección de oxígeno en MB.	38
Figura 20: Comparación de coeficiente de variación obtenido en truchas arcoíris (O. mykiss) con y sin inyección de oxígeno en MB.	39
Figura 21: Comparación de % de supervivencia obtenido en truchas arcoíris (O. mykiss) con y sin inyección de oxígeno en MB.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Vista de los estanques de cultivo de la empresa Piscifactoría Peña S.A.C.	55
ANEXO 2: Implementación del sistema generador de oxígeno.....	55
ANEXO 3: Sistema generador de oxígeno acondicionado para su utilización.....	56
ANEXO 4: Medición de parámetros físico químicos	56
ANEXO 5: Sistema de distribución de oxígeno en los estanques tipo raceways.	56
ANEXO 6: Instalación de difusores de cerámica a los estanques de cultivo.....	56
ANEXO 7: Primeras pruebas de funcionamiento del sistema de oxigenación	56
ANEXO 8: Visita de monitores técnicos del subproyecto PNIPA, para la supervisión del subproyecto.	56
ANEXO 9: Red general de distribución de oxígeno y sistema de difusores	56
ANEXO 10: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-46, mes de marzo.	56
ANEXO 11: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-46, mes de abril.	56
ANEXO 12: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-47, mes de marzo.	56
ANEXO 13: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-47, mes de abril.	56

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la experiencia adquirida durante 3 años de laborar en la cadena productiva de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), donde se tuvo la oportunidad de desarrollarse en el área de engorde y gestión de proyectos. Parte de la responsabilidad desarrollada fue optimizar el cultivo de trucha en la fase engorde, para ello se evaluó el efecto que produce la oxigenación con microburbujas en el cultivo de trucha arcoíris en un sistema de estanques tipo raceways, monitoreando los parámetros fisicoquímicos y los indicadores productivos. El lugar del estudio fue el centro de cultivo de la empresa Piscifactoría Peña S.A.C., ubicada en la cuenca del Río Chonta en el distrito de la Encañada, provincia y departamento de Cajamarca, a 2900 m.s.n.m.; para ello se puso a comparación una población de 7514 de peces del estanque 46 (E-46) cultivados con inyección de microburbujas, y 7380 peces del estanque 47 (E-47) cultivados sin inyección de microburbujas. El tiempo de la prueba fue de 22 días (marzo a abril del 2022), a un uso de 5 horas diarias post alimentación. La eficiencia de la producción de trucha arcoíris bajo este sistema de oxigenación se evaluó mediante los indicadores productivos a los tratamientos E-46 y E-47. Los principales parámetros evaluados fueron: SGR (1.06% y 1.27% respectivamente), FCA (1.20 y 1.32 respectivamente), Factor K (1.16 para ambos), coeficiente de variación (7.29% y 8.01% respectivamente), y tasa de supervivencia (99.51% y 99.34% respectivamente). El valor de oxígeno registrado durante el periodo de prueba en la población con inyección de oxígeno E-46 fue 5.73mg/L, mientras que el grupo sin inyección de oxígeno registró un valor de 5.53 mg/L. La biomasa obtenida a través de la aplicación del sistema fueron las siguientes: 1757.10 kg para E-46, y 1671.47 kg para E-47. La aplicación de un sistema de oxigenación en estanques raceways ha permitido el incremento de oxígeno disuelto en un 3.6%, y un incremento de biomasa de un 5% en un estanque de prueba, durante los 22 días de tratamiento, con respecto al grupo cultivado a condiciones normales. El valor estimado para la producción total con el uso de microburbujas en los 7 estanques de engorda, con una ampliación de horas de oxigenación, equivalen a un incremento aproximado de 1500 kg en biomasa mensual.

Palabras clave: Raceways, indicadores productivos, factor de conversión alimenticia, microburbujas y parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

This study describes the experience acquired during 3 years of working in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production chain, where there was the opportunity to develop in the area of fattening and project management. Part of the responsibility developed was to optimize the trout culture in the fattening phase, for this the effect that oxygenation with microbubbles produces on the culture of rainbow trout in a raceway type pond system was evaluated, monitoring the physical and chemical parameters and the indicators. productive. The study was carried out in the culture center of the company Piscifactoría Peña S.A.C., located in the basin of the Chonta River in the district of La Encañada, province and department of Cajamarca, at 2900 m.a.s.l.; a population of 7514 fish from pond 46 (E-46) cultured with microbubble injection and 7380 fish from pond 47 (E-47) cultured without microbubble injection were compared. The test time was 22 days (march to april 2022), at a post-feeding use of 5 hours per day. The efficiency of rainbow trout production under this oxygenation system was evaluated by means of productive indicators at treatments E-46 and E-47. The main parameters evaluated were: SGR (1.06% and 1.27% respectively), FCA (1.20 and 1.32 respectively), K-factor (1.16 for both), coefficient of variation (7.29% and 8.01% respectively), and survival rate (99.51% and 99.34% respectively). The oxygen value recorded during the test period in the E-46 oxygen-injected population was 5.73mg/L, while the non-oxygen-injected group recorded a value of 5.53 mg/L. The biomass obtained through the application of the system were as follows: 1757.10 kg for E-46, and 1671.47 kg for E-47. The application of an oxygenation system in raceway ponds has allowed a 3.6% increase in dissolved oxygen, and a 5% increase in biomass in a test pond, during the 22 days of treatment, with respect to the group grown under normal conditions. The estimated value for the total production with the use of microbubbles in the 7 fattening ponds, with an increase in oxygenation hours, is equivalent to an increase of approximately 1500 kg of biomass per month.

Key words: Raceways, productive indicators, feed conversion factor, microbubbles and physical-chemical parameters.

I. INTRODUCCIÓN

La presentación del siguiente trabajo para la titulación a través de una monografía de trabajo por suficiencia profesional representa la experiencia realizada en el cultivo de trucha arcoíris. Parte de esta experiencia fue la gestión coordinativa, monitoreo y ensayo de pruebas de un subproyecto cofinanciado por el PNIPA, titulado “Adaptación de un sistema de oxigenación con sistema concentrador de oxígeno y sistema de monitoreo de parámetros para el incremento de la producción de trucha en la empresa piscifactoría Peña S.A.C. en la región Cajamarca”. Mi participación fue como responsable de la calidad en la producción de la empresa, y coordinador administrativo del proyecto, que tendrá una duración total de 17 meses, y el ensayo de pruebas del funcionamiento del sistema generador de oxígeno se realizará durante un periodo de 22 días.

La trucha es la especie acuícola que ha tenido un crecimiento sostenible en los últimos 12 años en el Perú, desde el año 2009 donde se registró 12 817 t hasta el 2021, donde la producción total fue de 48 128 t. En el 2018 se alcanzó su punto más alto de la producción, se reportaron 64 372 t; sin embargo, en el 2019 tuvo una caída de casi 14 000 t. La mayor producción de trucha del año 2021 proviene del departamento de Puno, seguido de Pasco, Huancavelica y Junin, representando estos cuatro departamentos el 93.10% de la producción nacional (PRODUCE, 2022).

1.1. Problemática

El Centro de cultivo de la empresa Piscifactoría Peña se encuentra en una zona altoandina (2900 m.s.n.m), donde produce anualmente 240 toneladas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), sin embargo, la producción anual se ve afectada siempre en las épocas de estiaje (de julio a diciembre), donde presenta aumento de temperatura y disminución del oxígeno disuelto del agua de cultivo, sumado a ello la baja saturación de oxígeno debido a las menores presiones atmosféricas existentes en la zona. El agua de cultivo es captada del río Chonta, presentando caudales máximos de 900 a 1000 l/s en

épocas de lluvias, y caudales de 400 a 500 l/s en épocas de estiaje, generado una mayor incidencia en la disminución de las densidades de cultivo, debido a una reducción en las tasas de recambio. Los peces están habitualmente expuestos a ambientes hipóxicos (un nivel reducido de oxígeno en el agua), tanto en la naturaleza como en la acuicultura. Incluso a niveles subletales, la hipoxia puede tener efectos profundos en la digestión y el rendimiento de los peces (Eliason & Farrel, 2014).

Por ello, se propuso demostrar las ventajas que produce aplicar oxigenación en microburbujas a los estanques de cultivo tipo raceways durante la fase engorde de la trucha arcoíris y los efectos sobre los principales indicadores productivos, con la finalidad de mejorar la producción.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto que produce la oxigenación a través de microburbujas utilizando un equipo generador de oxígeno, sobre los indicadores productivos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar los indicadores productivos de la trucha arcoíris, como el incremento de peso (WG), Factor de conversión alimenticia (FCR), Tasa de crecimiento específico (SGR, %/días), Factor de condición (CF, g/cm³), Coeficiente de variación (CV, %) y tasa de supervivencia (SR, %), de una manera comparativa.

Determinar la variación de los parámetros fisicoquímicos, tales como el pH, Temperatura (°C), y concentración de oxígeno disuelto (mg/L) del agua de cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Especie en estudio: Trucha arcoíris (*O. mykiss*)

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez de agua fría que pertenece a la familia Salmonidae y se ha cultivado en todo el mundo (Roh & Hyung Kim, 2022). Es considerada una especie exótica en el Perú y fue introducida desde los EE. UU. en 1925 (Bastardo et al. 2011). Se encuentra entre los peces de piscifactoría más importantes del mundo. Abdalla et al. (2023) sostiene que es una de las especies más producidas en algunos países como Irán, Turquía, Noruega, Chile y Perú. Según los últimos datos disponibles de la FAO, estos países produjeron la mayor cantidad de trucha arcoíris durante los últimos cinco años (2016-2020). En 2020, la cantidad de producción de trucha arcoíris constituyó el 41.1% de la producción acuícola total de Irán (es decir, peces, crustáceos y moluscos, etc.), el 37.7% de la de Perú, el 34.2% de la de Turquía, el 6.5% de la de Noruega y el 5.9% de la de Chile.

La trucha arcoíris se cultiva de una manera exitosa en zonas altoandinas, ya sea en sistema de estanques o de jaulas flotantes.

2.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de trucha arcoíris según Llerena (2007), es la siguiente:

Reino : Animmalia
Phylum : Chordata
Sub Phylum : Vertebrata
Super Clase : Pisces
Clase : Osteichthyes

Sub Clase : Actinopterygii
Orden : Salmoniformes
Sub orden : Salmonoidei
Familia : Salmonidae
Género : Oncorhynchus
Especie : O. mykiss

2.3. Parámetros de calidad de agua para el cultivo de trucha arcoíris

El desarrollo exitoso del cultivo de trucha requiere condiciones específicas ambientales y de manejo. Factores como la calidad y la cantidad de agua son determinantes en el cultivo, lo que restringe su supervivencia a aguas muy limpias, de flujo rápido y baja temperatura (Parrado, 2012). Los principales parámetros de calidad de agua para el cultivo de la trucha arcoíris son las siguientes:

2.3.1. Temperatura:

Varias especies de salmónidos están adaptados a hábitats de agua fría y son térmicamente sensibles. La FAO (2014) sostiene que el rango adecuado para el cultivo de trucha arcoíris para el crecimiento y engorde oscila entre 13 a 18°C, siendo 15° el valor óptimo. Parrado et al. (2012) indica que la temperatura óptima para el engorde es de 15 °C. Adicionalmente, Klontz (1991) encontró en cultivos de trucha arco iris, que, para mantener un ambiente adecuado para el crecimiento y mantenimiento de las bacterias nitrificantes, el agua debe encontrarse a una temperatura entre los 11 y 15°C.

2.3.2. Oxígeno disuelto:

El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro fundamental de la acuicultura intensiva: su concentración juega un papel clave en el metabolismo de los peces y puede interactuar con otros procesos, como las actividades bacterianas o el metabolismo del plancton, que pueden tener una influencia significativa en su regulación (Lanari, 2007 citado en Royer et al., 2021). Parrado (2016) establece que se requiere un nivel de oxígeno en el rango 5,5 y 9 mg/L para el cultivo de trucha arcoíris. Así mismo, Imbaquimbo (2017) citando a FAO (2002), considera que el oxígeno disuelto adecuado para el cultivo de truchas se encuentra en el rango de 6.5 a 9 ppm. En complemento a ello, FONDEPES (2014) recomienda que la cantidad de oxígeno no sea menor a 5.5 mg/L (60% de saturación de oxígeno).

2.3.3. Potencial de hidrógeno (pH)

Según FONDEPES (2014), el pH está referido al carácter de acidez o basicidad del agua, siendo importante porque actúa como regulador de la actividad metabólica, y las aguas cuyo pH se muestra ligeramente alcalino son más convenientes para la crianza y desarrollo de la trucha, estableciendo rangos óptimos de 7 y 8. La FAO (2014) sostiene que el rango adecuado para el cultivo de trucha arcoíris oscila entre 6.5 a 8.5, siendo 7 el valor óptimo. En complemento a ello, Parrado (2016) establece que el pH debe oscilar entre 7 y 8.5 unidades.

2.3.4. Compuestos Nitrogenados

El nitrógeno que se suministra con los piensos manufacturados es importante como constituyente de las proteínas del pellet y como producto de desecho del metabolismo animal. El nitrógeno en los desechos animales puede contribuir al desarrollo de cultivos excesivamente ricos en fitoplancton y también puede conducir a la acumulación de dos compuestos que contienen nitrógeno (nitrito y amoníaco no ionizado), que pueden ser

tóxicos para los animales acuáticos en concentraciones relativamente bajas (Boyd & Tucker, 1998).

El amoníaco suele ser la forma más abundante de nitrógeno inorgánico combinado en estanques de acuicultura y puede ser bastante tóxico para los animales. El amoníaco realmente existe en agua en dos formas: amoníaco no ionizado y ion amonio (Boyd & Tucker, 1998).

El pH, la temperatura y la salinidad del agua determinan la toxicidad del amoníaco no ionizado. El pH es el más importante, ya que cuando aumenta en una unidad, ocasiona el incremento de 10 veces la producción de amonio tóxico (De la Oliva, 2011).

Camacho et al., (2000) recomienda mantener un valor de amonio menor a 0.012 ml/L como amoníaco, nitrito menor a 0.55 mg/L y nitrógeno menor de 110% de saturación total.

2.3.5. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales presentes en los sistemas de cultivo de truchas según Bilotta y Brazier (2008), poseen propiedades físicas determinadas, de forma, tamaño y capacidad de sedimentación, y las químicas se caracterizan por presencia de materia orgánica biodegradable y nutrientes como fósforo y nitrógeno.

Las partículas que ingresan en el afluente regularmente poseen tamaños entre 1.5 y 814 μm (IDEQ, 1997, citado por True et al., 2004). El tamaño de la partícula en la fuente de abastecimiento debe ser baja, ya que el agua ha pasado por diferentes sistemas de retención de sólidos como son los desarenadores y sedimentadores antes del ingreso al estanque con lo que solo se deberían conservar los sólidos más livianos y/o más pequeños (Hoyos, 2011).

Maillard (2005) determinó que el tamaño predominante de las partículas presentes en el efluente proveniente del cultivo de truchas está entre 1,5 y 30 μm , sin embargo las partículas que aportan mayor cantidad de masa o peso son las que corresponden a tamaños superiores a las 60 μm . Blanco (1995) sostiene que las partículas sólidas que abandonan el sistema pueden generarse por la fragmentación de los materiales o las heces fecales los cuales ven reducida su capacidad de sedimentación o por fenómenos de resuspensión desde el fondo del estanque.

2.4. Estanques o canales de flujo continuo (“Raceways”)

Los sistemas “raceways”, también conocidos como sistemas de flujo continuo, se emplean en cultivos intensivos, ya que cuentan con un flujo rápido de agua, que permite mantener una biomasa elevada de organismos y un recambio de agua continuo (INAPESCA, 2012). El diseño de este arte de cultivo comprende grupos de canales angostos construidos en bloques secuenciales con 2 o 3 secciones en serie, de tal modo que el agua es vertida de un “raceway” al siguiente, lo cual permite la oxigenación del agua; cada canal posee forma rectangular, estrecho y alargado que se elabora con cemento y tienen aproximadamente un metro de profundidad (INAPESCA, 2012). Arana et al., (2018) sostiene que el sistema raceways en estanques es una tecnología de cultivo de peces desarrollada para aumentar la eficiencia y el rendimiento de la producción. En complemento a ello, Fátima et al. (2021) argumenta que la tecnología del sistema raceways se introdujo como solución para un enfoque de acuicultura sostenible al aumentar efectivamente la producción, reducir la contaminación y facilitar la gestión de piensos y estanques.

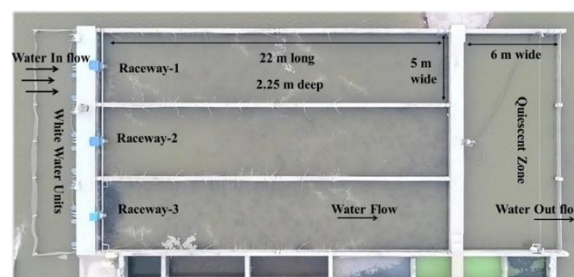


Figura 1: Vista aérea de un sistema de producción tipo raceways

FUENTE: Fátima et al. (2021)

2.5. Parámetros productivos

La forma de conocer la rentabilidad en la producción de truchas se obtiene a través de los indicadores productivos, presentando variaciones que van a depender de diversos factores, tales como la etapa de cultivo, el clima, la calidad de agua, el tipo de alimento, la tecnología de cultivo, etc. Ello nos permite poder tomar decisiones durante el periodo de cultivo, reduciendo costos y optimizando el crecimiento de los peces.

Los parámetros productivos a continuación fueron basados en Sanchooli et al. (2023), según las siguientes fórmulas:

a) Ganancia de peso (WG, g) = Peso final (FW) – Peso inicial (IW)

Este indicador da a conocer la ganancia de peso durante una etapa de cultivo, siendo un parámetro fundamental para la actualización del tipo de alimento a suministrar, ubicación adecuada de tamaño de estanques y obtención de otros indicadores productivos.

b) Ganancia de longitud (LG, cm) = Longitud final– Longitud inicial

La obtención de las longitudes durante la etapa de desarrollo de la trucha nos permite relacionar junto al peso, si el crecimiento que se está obteniendo en una población se relaciona de manera isométrica.

c) Tasa específica de crecimiento (SGR, %/día) = $(\ln(\text{FW})-\ln(\text{IW}))/\text{días}$

El cálculo de este indicador nos permite determinar el porcentaje de crecimiento diario en peso de las truchas. Para ello se requiere tener como dato el peso final, peso inicial, y los días de alimentación. Lugert et al. (2014) sostiene que el SGR (%) es una forma rápida y fácil de comparar resultados en estudios de nutrición y crecimiento.

d) Factor de conversión alimenticia (FCR) = (Alimento suministrado (g))/WG

La tasa o factor de conversión alimenticia sirve para medir la eficiencia del alimento, así como también la forma adecuada de suministro de este. Este indicador varía según la etapa de cultivo, presentando valores mínimos durante la etapa de alevinaje y valores máximos durante las etapas finales de cultivo. Se mide a través de la relación entre la cantidad de alimento suministrado y la ganancia de biomasa de una población.

e) Factor de condición (CF, g/cm³) = [(FW/(Longitud final)³)]x100

Factor de condición o variable K tiene como utilidad relacionar el peso y la longitud del pez, con el cálculo de este indicador se puede determinar si el estado de la trucha es isométrico o no. Este factor influye en la toma de decisiones de ajustes de raciones de alimento.

f) Tasa de supervivencia (SR, %) = ((Número final de peces)/(Número inicial de peces))x100

Este parámetro nos permite calcular en porcentaje la cantidad de peces vivos respecto a la cantidad inicial de siembra.

2.6. Sistema de aireación y oxigenación

Uno de los principales desafíos para la acuicultura a nivel de estanque es la baja disponibilidad de agua en épocas de verano, trayendo como consecuencia un aumento de la temperatura y escasez del oxígeno disuelto (OD). Petit (2020) sostiene que el aumento de la temperatura del agua en la piscicultura va acompañado de dos fenómenos que agravan los problemas de oxigenación, tales como el aumento de las necesidades de

oxígeno por kg de pescado y la disminución de la cantidad de oxígeno transferido por aparatos de aireación al querer mantener la misma concentración en el agua de cultivo. En consecuencia, del primer fenómeno, el problema de la oxigenación será determinante para la rentabilidad de la producción cada vez que se trate de criar especies con un alto requerimiento de oxígeno, como los salmónidos, en aguas a más de 15°C.

Vasquez et al. (2016) sostiene que la presión atmosférica varía con la altitud, latitud y condiciones climáticas. Cuanto menor sea la altitud sobre el nivel del mar, mayor será la presión atmosférica y mayor será la capacidad que tiene el agua para disolver oxígeno. La altura produce una disminución significativa del contenido de oxígeno disuelto en el agua y se ha encontrado que, a alturas superiores a 3500 msnm, representa el 65% del valor que se puede encontrar en la costa (nivel del mar).

En el esfuerzo por aumentar el OD por encima del equilibrio o por encima de las concentraciones que se pueden obtener mediante aireación, también se ha desarrollado la inyección de oxígeno puro al sistema (Lekang, 2007, citado en Burke et al., 2022). Existen múltiples tipos de técnicas de oxigenación, que van desde sistemas que dispersan micro o nanoburbujas de oxígeno puro como líquido o gas en las jaulas, hasta reemplazar nitrógeno con oxígeno, o incluso usar peróxido de hidrógeno que se disocia para liberar oxígeno (Endo et al., 2008, Bögner et al., 2021). En un estudio de Bergheim et al. (2006), se examinó el uso de un sistema de inyección de oxígeno y se encontró que el sistema aumentaba el OD en un promedio de 10 a 15 % cuando la saturación de OD caía por debajo del 85 %.

2.6.1. Sistema de inyección de oxígeno mediante microburbujas

Microburbuja es el término utilizado para describir partículas diminutas de gas con un diámetro inferior a 100 µm. Estas burbujas suben a la superficie del agua de forma extremadamente lenta y permanecen en soluciones durante bastante tiempo (Takahashi, 2003). Además, en un estudio de Endo et al. (2008) se determinó que las microburbujas de oxígeno inyectadas en jaulas marinas elevaban significativamente las concentraciones

de OD en comparación con las concentraciones de referencia, casi saturando toda la columna de agua y disminuyendo ligeramente la temperatura del agua de cultivo.

2.6.2. Composición del sistema “generador de microburbujas”

El generador de oxígeno utiliza una tecnología de adsorción por cambio de presión (PSA) para producir oxígeno pasando aire comprimido tratado previamente a través de un depósito con adsorbente de zeolita (tamices moleculares, MS). El proceso PSA es inherentemente un proceso de tratamiento discontinuo, ya que el lecho adsorbente requiere una desorción periódica. Para asegurar un flujo constante, los sistemas generadores de oxígeno PSA contienen dos depósitos adsorbentes para ofrecer continuidad operativa. Hay un depósito activo mientras el otro permanece inactivo. Al final de cada ciclo cambian las funciones (Atlas Copco, 2016).

El depósito activado se presuriza y el aire comprimido tratado previamente entra en el depósito activado y sigue a través de los tamices moleculares (MS). Las moléculas de nitrógeno se adsorben mientras las moléculas de oxígeno logran pasar (Atlas Copco, 2016).

Cuando el depósito de adsorción se encuentra cerca de la saturación, el depósito regenerado se vuelve a presurizar parcialmente con el aire comprimido del depósito de adsorción. A esto se le denomina el paso de ecualización, y está pensado para reducir el consumo de aire comprimido (Atlas Copco, 2016).

Cuando se libera la presión del depósito saturado, se inicia el proceso de regeneración. Al mismo tiempo, el depósito regenerado se presuriza aún más hasta la presión de trabajo con el aire comprimido de la entrada. El ciclo comienza de nuevo (Atlas Copco, 2016).

Este sistema está compuesto por un grupo de máquinas establecidas sobre una plataforma, ello está conformado por un compresor de aire tipo tornillo con inyección de aceite, un

variador de velocidad para compresor, un secador de aire tipo frigorífico, un sistema de filtros coalescentes y filtro de carbón activado, un generador de oxígeno con tanques de almacenamiento y difusores de cerámica de microburbuja (Atlas Copco, 2016).

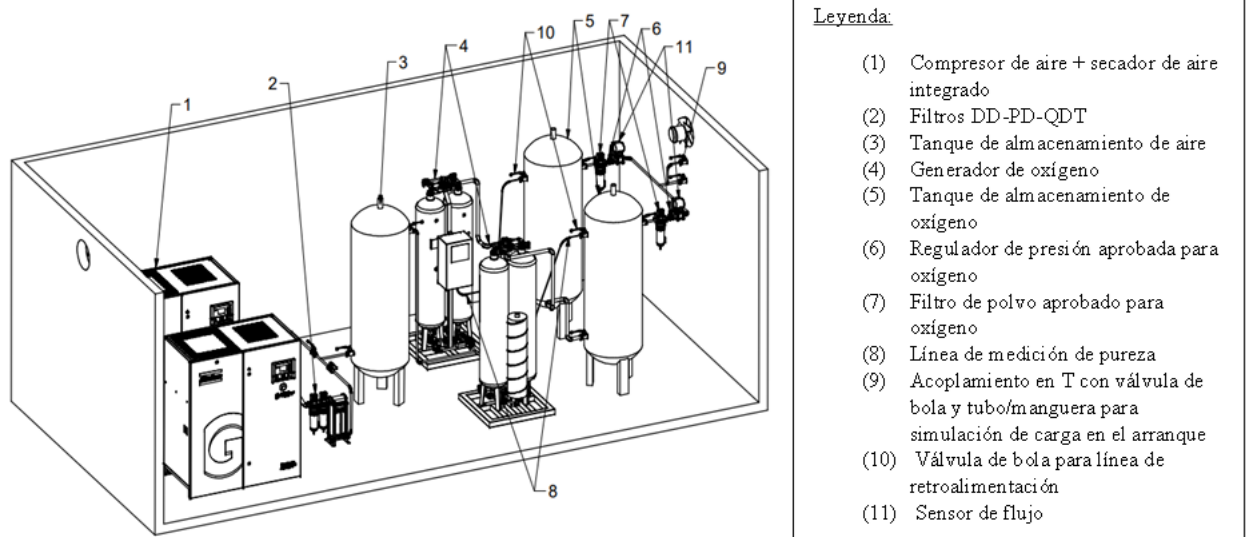


Figura 2: Sistema de generación de oxígeno

FUENTE: Atlas Copco (2016).

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.2. Ubicación y periodo

La empresa PISCIFACTORIA PEÑA S.A.C, se dedica a la producción y comercialización de trucha arco iris desde hace más de 18 años, siendo uno de los primeros productores a nivel nacional. Cuenta con un Centro de Producción Acuícola Chano, en la cuenca del Río Chonta en el distrito de La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca. El CPA Chano, cuenta con 27 estanques de alevinaje, 10 estanques de juveniles y 19 estanques de engorde, cuya capacidad instalada es de 250 TM / año. Adicionalmente cuenta con una Planta de Procesamiento Primario, debidamente habilitada.



Figura 3: Centro de cultivo de la empresa piscifactoría Peña S.A.C.

La empresa cuenta con un total de 20 empleados, dentro de las áreas de producción, calidad y administrativa. En la Figura 4 se presenta el organigrama establecido para cada cargo:

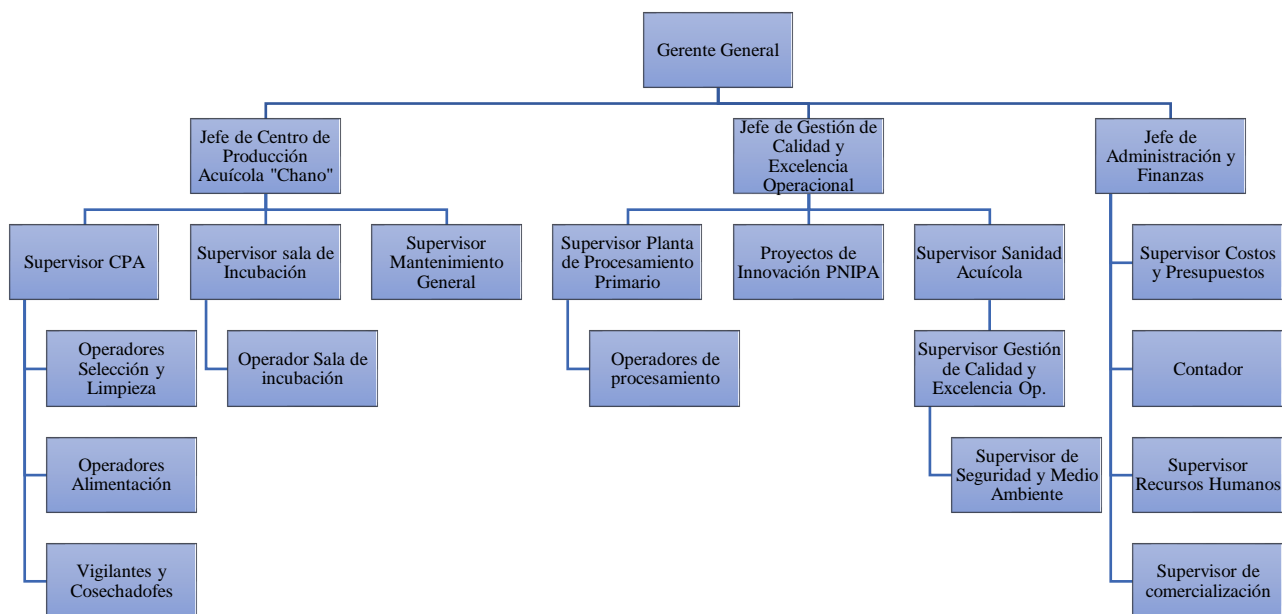


Figura 4: Organigrama de la empresa Piscifactoría Peña S.A.C.

El periodo de la experiencia en cultivo de trucha arcoíris fue de 3 años, sin embargo, el proyecto en mención tuvo una duración de 17 meses, tiempo que duró el proceso de la implementación del sistema generador de oxígeno, una vez culminada la implementación se realizó un ensayo de pruebas con una duración aproximada de un mes, ejecutado entre los meses de marzo a abril del 2022.

3.2. Funcionamiento del sistema de oxigenación

La Planta de Oxigenación implementada en el CPA de la empresa Piscifactoría Peña SAC, es del tipo industrial. Esta planta está diseñada para proporcionar un caudal de oxígeno de 6.5 Nm³/h a una pureza del 90% mediante la tecnología PSA (Pressure Swing Adsorption), que tuvo una operación en forma continua en el rango de 5 a 6 horas diarias (periodo que puede incrementarse según necesidad y recursos).

A continuación, se describen las funciones más importantes de cada equipo, asimismo, se indican los componentes principales de cada uno de ellos con la finalidad de que el

personal responsable de la operación de la planta y la red de distribución de oxígeno no presente inconvenientes durante la puesta en marcha del sistema:



Figura 5: Equipos y materiales del sistema de generación y distribución de oxígeno. 1: Compresor GA18 montado sobre tanque de aire/2: Variador de frecuencia/3: Secador de aire/4: Línea de filtros/5: Generador de oxígeno/6: Tanques para almacenamiento de oxígeno/

3.2.1. Compresor y tanque para aire comprimido

El compresor es uno de los equipos más importantes en la implementación de un sistema de oxigenación, debido a que recoge la materia prima para generar oxígeno, es decir, recoge el aire necesario del ambiente para comprimirlo y luego expulsarlo a otras unidades complementarias del sistema.

La planta de oxigenación cuenta con un compresor de la marca Atlas Copco modelo GA18, este compresor es de tipo tornillo de una etapa, con inyección de aceite y está accionado por motor eléctrico. Este equipo puede controlarse a través de un controlador Elektronikon en su versión estándar instalado en la puerta delantera, detrás de este panel está situado un armario eléctrico que aloja el arrancador del motor.

El compresor de tornillo se encuentra montado sobre un tanque para aire comprimido del tipo cilíndrico horizontal con capacidad de 500 L como se muestra en la Figura 1.

El aire que aspira y comprime el compresor ingresa al tanque de tipo cilíndrico horizontal y luego al secador de aire tipo frigorífico.

3.2.2. Variador de frecuencia

El variador de frecuencia regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y 70%.

Un variador de frecuencia es un regulador industrial ubicado entre la alimentación de energía y el motor. Los variadores reducen la potencia de salida de una aplicación, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria.

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad.

3.2.3. Secador de aire

Cuando el aire se comprime, aumenta la concentración de humedad y otros contaminantes como gotas de aceite y partículas de suciedad. Si esta mezcla se mantiene circulando en el sistema, se enfría y se convierte en un condensado líquido. Este condensado puede afectar la calidad del producto final, además resulta corrosivo para el sistema de aire comprimido dando lugar a la pérdida del producto, el aumento en la necesidad de mantenimiento y la reducción de la vida útil de los equipos; por tal motivo, es necesario que como parte del sistema de oxigenación exista un secador de aire.

3.2.4. Línea de filtros

Normalmente el aire atmosférico contiene numerosas impurezas como polvo, diversas formas de hidrocarburos y agua en forma de humedad. Su concentración aumenta cuando el aire se comprime, como consecuencia, estas partículas contaminantes entran en el circuito, lo que genera desgaste y corrosión en los equipos aguas abajo. En cualquier red de distribución de aire comprimido es necesario instalar uno o más filtros, de esta forma, se consigue una mejor calidad del aire, lo que beneficia a toda la red y equipos aguas abajo.

El sistema de oxigenación cuenta con 2 filtros tipo coalescentes correspondientes al modelo FG85 y FC85 para un grado de filtración de concentración de aceite a la salida de 0.3 mg/m³ y 0.01 mg/m³ respectivamente y un filtro de carbón activado, modelo FS0070 que posee una remoción de aceite de hasta 0.003 mg/m³. Este sistema de filtros permitirá obtener aire comprimido sin impurezas, adecuado para el ingreso al generador de oxígeno.

Para filtrar el aire, la válvula que alimenta de aire comprimido a la línea de filtros debe abrirse lentamente ya que en el interior existe un elemento que puede dañarse si esta se abre rápidamente por completo. Tener en cuenta que las válvulas instaladas a la salida de la línea de filtros y del by-pass deben estar completamente cerradas. Cabe resaltar que la válvula instalada a la salida de la línea de filtros es la que también suministra de aire comprimido limpio y seco al generador de oxígeno por lo que debe aperturarse lentamente cuando este entre en funcionamiento.

3.2.5. Generador de oxígeno

El generador de oxígeno OGP6, está diseñado para producir oxígeno de uso industrial a partir de aire comprimido mediante la tecnología de adsorción por cambio de presión (PSA). El generador está compuesto por dos torres con material adsorbente en su interior,

este adsorbente presenta afinidad con moléculas diferentes al oxígeno (O₂), permitiéndole a estas moléculas atravesar el tamiz mientras que los otros componentes, como moléculas de nitrógeno e impurezas, son retenidas. Las torres alternan funciones, mientras el adsorbente de una se encuentre cerca a la saturación, la otra va regenerándose por despresurización a presión atmosférica permitiendo un suministro continuo de oxígeno.

3.2.6. Tanques para oxígeno

El sistema de oxigenación cuenta con 3 tanques del tipo cilíndrico vertical autosoportado, adecuados para la recepción de oxígeno a altas purzas. En planta se instalaron 2 tanques con un volumen de 500 L y 1 tanque de 1000 L.

El oxígeno procedente del generador será recepcionado por estos depósitos para su almacenamiento y/o suministro directo hacia la red de distribución. Cada tanque cuenta con válvulas al ingreso y salida que permite su presurización y despresurización. Cabe resaltar que la presión de diseño de los tanques es de 10 bar aproximadamente.

3.2.7. Difusores de cerámica de microburbuja

El Difusor Cerámico Enviro (ECD) consiste en una membrana cerámica de difusión de gas de alta tecnología para una transmisión eficiente de microburbujas al agua u otros líquidos adecuados. El modelo por utilizar corresponde al ECD400, el cual tiene una superficie de 400cm². La niebla ultrafina de microburbujas aparece rápidamente a presiones de 1-2 bar (14,5-29 psi). La distribución del tamaño de las burbujas está entre submicrones (nano) y aproximadamente 250 micrones (µm) dependiendo de condiciones tales como presiones, profundidad, corrientes laterales y tensiones superficiales de la interfaz de líquido, gas y sólido.

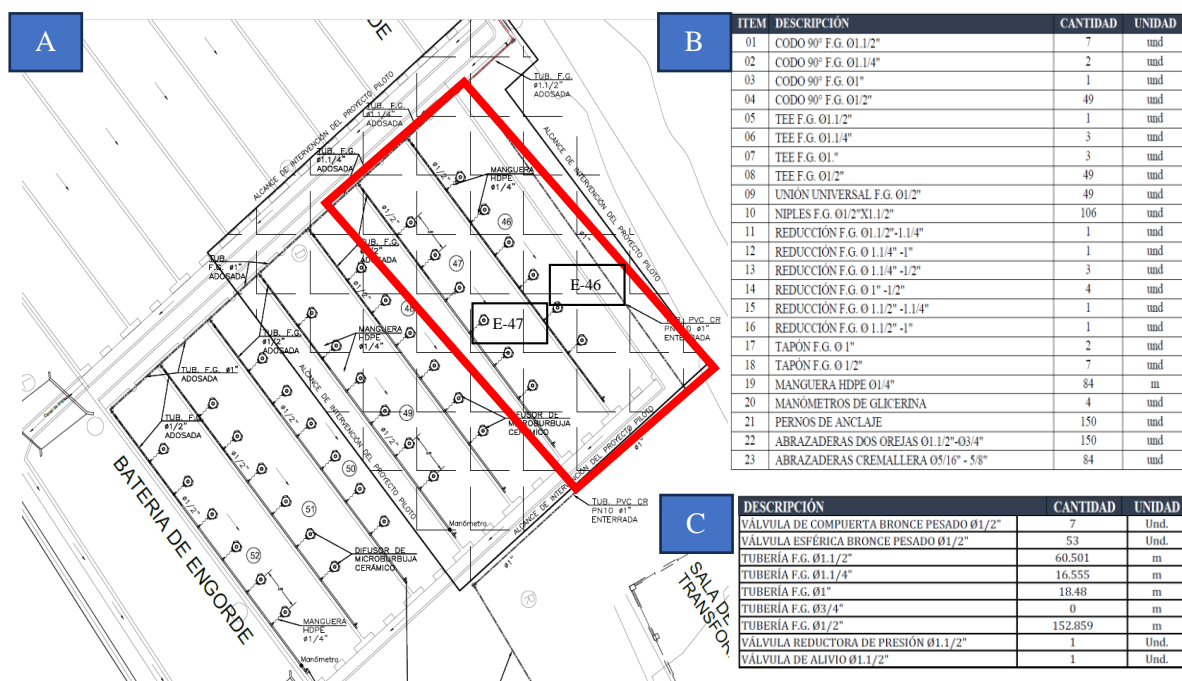


Figura 6: A: Vista planta del sistema piloto de distribución de oxígeno en estanques. /B: Materiales y accesorios varios para el acondicionamiento de las estructuras del sistema de distribución de oxígeno. /C: Tuberías y válvulas de la red de distribución.

En la figura 6 se observa el sistema piloto de la red de distribución de oxígeno, y los materiales utilizados para la construcción del diseño. El desarrollo general de la implementación del sistema de oxigenación en la empresa Piscifactoría Peña S.A.C. fue diseñado para una totalidad de 7 estanques raceways, en embargo durante el periodo de pruebas, se utilizaron los estanques E-46 y E-47, en la cual solamente en el primero se consideró la inyección de oxígeno; E-47 al no contar con el suministro de oxígeno, no se consideró la colocación de los difusores de cerámica.

3.3. Contribución en la solución de situaciones problemáticas

3.3.1. Problema antes de la implementación

La época de estiaje en la región Cajamarca y en general de la sierra peruana se da entre los meses de julio a diciembre de cada año y se caracteriza por la disminución de las

precipitaciones pluviales y que trae consigo la disminución del caudal de agua del río Chonta. Al reducirse el caudal del río, deja expuestas las piedras en el curso del río y con la incidencia de los rayos solares, eleva la temperatura del agua y su consiguiente evaporación. Estas condiciones hacen que el agua llegue con menos nivel de O₂, ello sumado a la biomasa de cada estanque hace que la calidad del agua se degrade sobre todo en la ubicación de aguas abajo. De esta manera, el volumen de producción por mes se ven mermados en los meses de estiaje. La alternativa de solución seleccionada para este punto crítico identificado es un sistema de oxigenación con concentrador de O₂ de calidad industrial (aprox. 80% -90% de concentración), y un sistema de monitoreo de parámetros productivos.

3.3.2. Problema en la puesta en marcha

La implementación de un sistema generador de oxígeno en microburbujas corresponde a una alta inversión inicial en equipos, considerando la coyuntura de ese momento, debido al covid 19, el alza del dólar, retraso en el desembolso de los hitos 2 y 3 del proyecto, todo ello en conjunto dificultó a la implementación completa en el tiempo programado, por lo que no se logró realizar las pruebas en la época de estiaje (julio – diciembre), si no meses después, donde había presencia de lluvias, ello trajo ciertas dificultades en el funcionamiento del sistema de oxigenación, tales como:

- Capacidad limitada para la distribución de oxígeno a la totalidad de estanques de la etapa de engorde, debido a un incremento excesivo en el precio del sistema de generación de oxígeno.
- Obstrucción de poros de los difusores de microburbujas, debido a las partículas en suspensión que trae consigo las lluvias como consecuencia de un mal diseño del sedimentador al ingreso del caudal de agua.

- Los resultados de los indicadores productivos y parámetros fisicoquímicos no presentaron diferencias significativas, debido a que las condiciones no fueron las más adecuadas para la realización de las pruebas.

La medida de poder dar solución a lo antes mencionado se realizó junto al equipo técnico, considerar disminuir la capacidad de suministro de oxígeno, de lo que inicialmente estaba destinado a producir 20m³/h, a 6.5m³/h por un tema de sobrecostos, así mismo, se disminuyó la capacidad de tanques de almacenamiento de oxígeno de 40m³, a 20m³, logrando de esta manera una mayor factibilidad en la adquisición. El aporte realizado en este trabajo consistió en la inmediata elaboración de los informes técnicos financieros, adquisiciones de materiales y equipos y administración de la implementación de la planta de oxígeno en el centro de cultivo de Piscifactoria Peña S.A.C. Adicional a ello se brindó el apoyo al trabajo de campo para la toma de muestras in situ de la calidad del agua de cultivo a la entrada y salida del estanque, así como también a la realización de las biometrías y procesamiento de data obtenida en el campo.

3.4. Análisis de la contribución

Los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la etapa universitaria han sido un pilar fundamental para la obtención de criterios importantes para la aplicación en el campo, específicamente en la implementación de un sistema de oxigenación para el cultivo de trucha arcoíris en la fase de engorde, y el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y cálculo de los indicadores productivos.

La aplicación de las buenas prácticas acuícolas forma una parte fundamental durante todo el proceso del cultivo de trucha arcoíris, desde la recepción de alevines hasta su cosecha. A continuación, se describe las actividades realizadas durante la experiencia laboral.

3.4.1. Recepción y siembra de alevines

La siembra de alevines en el centro de cultivo se realiza de manera mensual, la cantidad de siembra es de 90 mil unidades, con longitud y peso promedio de 5 cm y 1.5g respectivamente.

Al iniciar el proceso de recepción, se debe de realizar la limpieza y desinfección externa del vehículo que transporta los alevines, ello se ejecuta en el ingreso del establecimiento. El siguiente procedimiento es realizar el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua de llegada en los recintos que transportan los alevines, se registra la temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y pH. La empresa establece que el agua de traslado de alevines debe de mantenerse a una temperatura de 11 a 12°C, OD de 8 a 10 ppm, porcentaje de saturación de oxígeno de 100 a 120%, y pH en el rango de 7 a 8. Una vez haya sido verificada y aprobada las condiciones de llegada, se traslada y siembra a los estanques previamente desinfectados y acondicionados.



Figura 7: Recepción y siembra de alevines. 1: Registro de parámetros fisicoquímicos/2: Extracción de alevines hacia estanques/3: Estanques habilitados para siembra.

3.4.2. Selección por tallas

En el presente trabajó se recepcionaron peces seleccionados previamente. El método utilizado fue mediante selección en cajas con rejillas calibradas, los peces que quedaron sobre las rejillas obtuvieron un peso promedio de 175g. El coeficiente de variación con el que se recibieron los peces para las pruebas fue de 5.83% para la población del estanque E-46 y 7.33% para la población de E-47.



Figura 8: Selección por tallas

3.4.3. Medición de parámetros fisicoquímicos

El sistema de cultivo en sistema raceways con inyección de oxígeno en microburbujas, requiere de un control estricto de la calidad del agua. Para la medición de parámetros fisicoquímicos se utilizó un MULTIPARAMETRO WTW 3620, el cual cuenta con los sensores de temperatura, oxígeno disuelto y pH. Primeramente, se verificó la curva de calibración del sensor de oxígeno en el equipo, para posteriormente realizar las mediciones en los dos estanques de pruebas. Durante el periodo de prueba se realizaron las mediciones cada hora, debido a las altas fluctuaciones.

Se midió la calidad del agua de cultivo considerando los principales parámetros fisicoquímicos como son: pH, temperatura (°C) y concentración de oxígeno (mg/L) en intervalos de una hora, desde las 7:00 am hasta las 5:00 pm; para las mediciones de concentración de oxígeno se realizaron tomas de muestras al ingreso y salida de los estanques.



Figura 9: Medición de parámetros fisicoquímicos a la salida del estanque

3.4.4. Biometrías

Se realizaron biometrías semanales, tomando una muestra de 150 peces de cada estanque. Los peces fueron anestesiados con esencia de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) “Frutarom” a 2ml/20L de agua.

Se registró peso (g) con una balanza digital con precisión 0.01g y talla (cm) individual con un ictiómetro. La data obtenida fue procesada y evaluada mediante gráficos estadísticos.

Al inicio de las pruebas, cada estanque contó con un total de 7500 peces con un peso promedio individual de 175.0 gramos. La carga final al culminar las pruebas se mantuvo de 20 a 24 kg/m³. Los peces fueron alimentados diariamente con alimento balanceado de la marca “Aquatech” de calibre 6mm pigmentado, a una tasa de alimentación de 1.8%.

La frecuencia de alimentación fue de dos veces al día, siendo la primera ración entre las 8 y 10 a.m. y la segunda ración entre las 2 y 3 p.m.

Las unidades de pruebas fueron conformadas por dos estanques tipo raceways distribuidos en forma paralela y continua. Las dimensiones de cada unidad fueron de 20 metros de largo, 4 metros de ancho, y 1 metro de profundidad.



Figura 10: Realización de biometrías

3.4.5. Limpieza y mantenimiento de difusores de cerámica

Se procede a la limpieza de los difusores enjuagando con abundante agua, luego se limpiaron la superficie con jabón líquido.

Se enjuaga nuevamente con abundante agua y se suministra oxígeno para eliminar restos de agua y secar por dentro del difusor.

En la figura 14 se muestra el difusor limpio, eliminándose las manchas en la superficie, producto de la alta turbidez del agua por las intensas lluvias.



Figura 11: Mantenimiento y limpieza de difusores de cerámica

3.4.6. Evaluación de indicador

El centro de producción utiliza herramientas tales como los indicadores productivos para medir la rentabilidad de su producción, así como la estimación del crecimiento de los peces, los indicadores utilizados para ello son: el factor de conversión alimenticia (FCR) que relaciona la cantidad de alimento suministrado con la ganancia de biomasa en un periodo de tiempo, la tasa de crecimiento específica (SGR), que representa al porcentaje de peso ganado por día, el factor de condición (K), que relaciona el peso y la talla para controlar un crecimiento isométrico, la tasa de supervivencia (%) que determina cuántos peces se tiene actualmente con respecto a la cantidad de siembra.

3.5. Beneficio obtenido por el centro piscícola

Pese a los problemas presentados durante la puesta en marcha del proyecto, se logró la implementación satisfactoria, pudiendo concretarse dentro del tiempo estimado total programado; así mismo, los fondos destinados a las adquisiciones de materiales y equipos se manejaron de manera óptima.

Se realizaron capacitaciones al personal operativo del centro piscícola, acerca del correcto funcionamiento del sistema de oxigenación, también se capacitó acerca de la seguridad ocupacional al momento de manipular los equipos. Se elaboraron manuales y protocolos, entre otros expedientes técnicos adicionales importantes para el adecuado uso y funcionamiento del sistema generador de oxígeno.

Piscifactoría Peña S.A.C. cuenta ya con el conocimiento y la explicación de la importancia del uso del sistema de oxigenación y el uso idóneo de los equipos, el tiempo de uso, y las horas estimadas de funcionamiento al día.

De este modo, el centro piscícola asegura que su producción anual pueda llegar a lo estimado, y no se vea afectado debido a los escasos de oxígeno. La prueba a nivel piloto arrojó una ganancia estimada de 400kg de biomasa mensuales al considerar la utilización de 4 estaques de la fase engorde, sin embargo, se requiere realizar pruebas con mayores repeticiones, considerando la prolongación de horas de uso, y la época adecuada para ello.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos

4.1.1. Temperatura

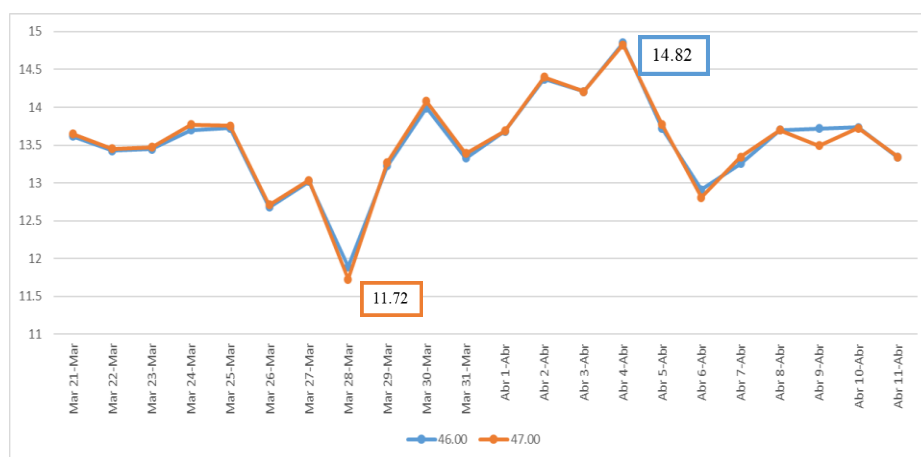


Figura 12: Comparación de temperaturas promedio para E-46 y E-47

En la Figura 14 se muestra un resumen comparativo entre el promedio diario de la temperatura del agua de los estanques. Para el Estanque 46 y Estanque 47, se muestran valores similares durante todo el periodo de evaluación excepto el día 9 de abril, donde para el E-46 la temperatura fue de 13.72°C y para el E-47 13.49°C. En ambos estanques el comportamiento presentado durante todo el periodo de pruebas varió en un rango de 11.72 a 14.82°C, representando valores recomendables para el cultivo de truchas, ya que la FAO (2014) considera un rango adecuado de 13 a 18°C, sin embargo, se mantuvieron por debajo del valor óptimo, según Parrado et al. (2012).

4.1.2. Oxígeno disuelto

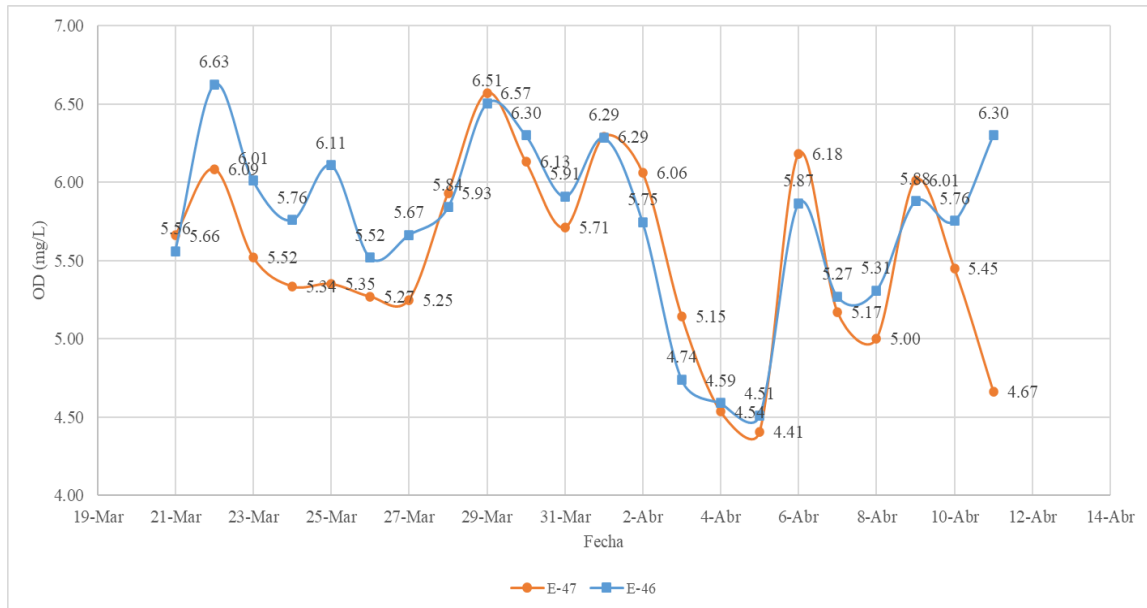


Figura 13: Promedio de OD (mg/L) (Ingreso y Salida) del E-46 y E-47

Como se muestra en la Figura 13, el promedio diario de OD al ingreso y salida del E-46 al inicio de las pruebas (22-27 de marzo) fue superior a los valores obtenidos en E-47, sin embargo, en los días posteriores las oscilaciones del E-46 resultaron inferiores (registro del 28-29 marzo; 1, 2,3, 4, 9 y 11 de abril) y superiores al E-47, cuando se esperaba que por la inyección de oxígeno en microburbujas, el E-46 predomine en los valores obtenidos, sin embargo, el nivel de oxígeno presentado en E-46 durante todo el periodo de prueba (a excepción de los días 3 al 5 de abril, y 7 al 8 de abril) fue mayor de 5.5 mg/L, encontrándose dentro de los valores aceptables para el cultivo de trucha según Parrado (2016), donde establece que se requiere un nivel de oxígeno en el rango de 5.5 a 9.0 mg/L. A su vez, FONDEPES (2014) recomienda que la cantidad de oxígeno no sea menor de 5.5 mg/L, siendo desfavorable en el caso del E-47, donde obtuvo valores menores a 5.5 mg/L en la mayor parte de los días registrados.

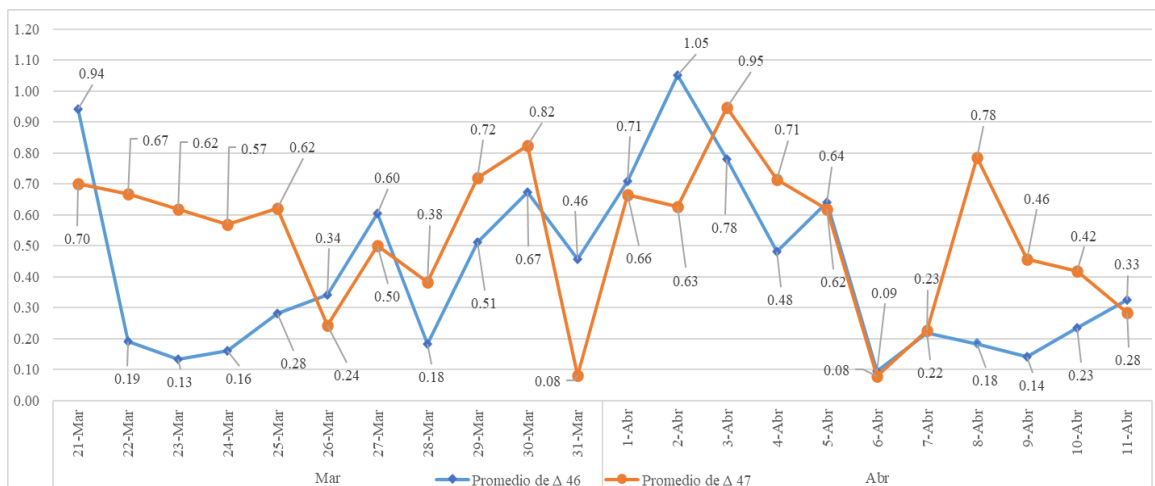


Figura 14: Variación promedio, respecto al ingreso y salida de E-46 y E47

Según la figura 17, se observa que a nivel general la variación de concentración de oxígeno al ingreso y salida del E-46 representaron valores inferiores al del E-47, a excepción del 21, 26, 27, y 31 de marzo, así como también del 1 al 2 de abril, siendo este último el día donde se alcanzó el pico máximo de variación (1.05 mg/L), ello pudo haberse generado por un mal manejo en la distribución de oxígeno, E-46 presentó valores mínimos a 0.2 mg/L durante los días del 22 al 24 y 28 de marzo, y del 8 al 10 de abril, mientras que la variación para el E-47 fueron mayores. Los desfases ocasionados durante el periodo de pruebas, se relacionan también con la obstrucción de los poros de los difusores de cerámica, debido a la presencia de partículas de los sólidos suspendidos y sedimentos totales provenientes de las lluvias y de los mismos desechos de las truchas, que según True et al. (2004) citando a IDEQ (1997) las partículas que ingresan en el afluyente poseen tamaños entre 1.5 y 814 μm , considerando que la distribución del tamaño de las burbujas están en submicrones (nano) y aproximadamente 250 μm .

Tabla 1: Consolidado de promedio de nivel de oxígeno en Estanques

N° Estanque	Oxígeno (mg/L)		
	Marzo	Abril	Promedio
46	5.98	5.48	5.73
47	5.71	5.35	5.53

En la Tabla 1 se muestra el promedio de oxígeno disuelto en el E-46 con inyección de oxígeno, y E-47 sin inyección de oxígeno, siendo de 5.73 mg/L y 5.53 mg/L respectivamente. El aumento de OD fue de 0.20mg/L, y el porcentaje de aumento de oxígeno respecto al tratamiento en condiciones normales fue de 3.61%. Endo et al. (2008) demostró que la concentración de OD en los corrales de red burbujeante aumentó y se volvió significativamente mayor que el nivel fuera del corral de red (entre 0,52 y 0,87 mg/L), siendo el aumento superior a lo obtenido en el presente trabajo. Así mismo, sostiene que el generador de microburbujas puede suministrar oxígeno a los peces de cultivo de manera eficiente y elevar las concentraciones de OD hasta casi el punto de saturación (6.4 mg/L de OD a una temperatura del agua de 27 °C).

4.1.3. pH

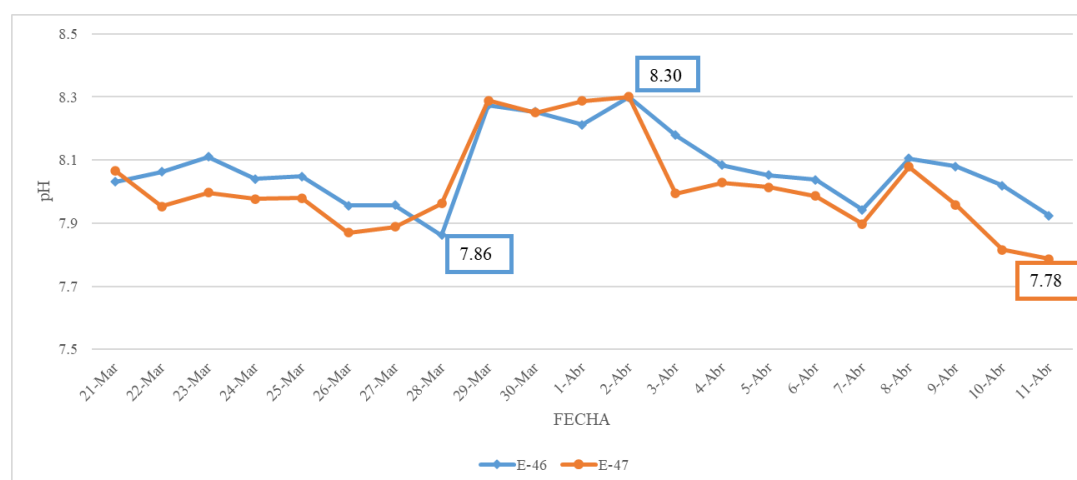


Figura 15: Promedio de PH, E-46 y E-47

En la figura 18 se compara el promedio diario de pH entre los estanques E-46 y E-47. A nivel general los valores obtenidos en E-46 fueron ligeramente más alcalinos que E-47, con un máximo de 8.30, y mínimo de 7.86, a comparación de E-47 que presentó un valor máximo de 8.30 y mínimo de 7.78. El pH registrado en ambos estanques se encuentra dentro del rango permitido para el cultivo de truchas, adicionando que todos los registros representaron valores ligeramente alcalinos, siendo más conveniente para la crianza y desarrollo de Truchas, según FONDEPES (2014), donde recomienda cultivos en rangos de 7 y 8. Ello coincide con Parrado (2016), donde establece que el pH debe oscilar entre 7 y 8.5 unidades. Lopez et al. (2005) reportó también que el pH en cultivo de trucha

arcoíris no presenta variaciones significativas, sostiene también que este parámetro físico químico es de suma importancia para la química y biología del agua, como para el cultivo de peces. Agregado a ello, Vásquez et al. (2016) sostuvo que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los factores de ubicación y tiempo.

4.2. Indicadores productivos

Tabla 2: Datos generales de siembra de truchas con y sin inyección de oxígeno en MB.

VARIABLE	ESTANQUES DE PRUEBA	
	Con inyección de oxígeno en MB	Sin inyección de oxígeno en MB
<i>Denominación</i>	E-46	E-47
<i>Volumen (m³)</i>	80	80
<i>Caudal de ingreso de agua (L/s)</i>	32	36
<i>Nº inicial de individuos</i>	7514	7380
<i>Peso promedio inicial (g)</i>	175.61	178.78
<i>Biomasa inicial (Kg)</i>	1319.46	1319.40
<i>Carga inicial (Kg/m³)</i>	16.5	16.5
<i>Frecuencia de alimentación (veces por día)</i>	2	2
<i>Ración diaria (%peso corporal)</i>	1.8	1.8

4.2.1. Incremento de peso y biomasa

En la Tabla 3, se muestra el peso promedio final en la etapa de engorde del cultivo de trucha arcoíris obtenido en 22 días de pruebas; para los peces con inyección de oxígeno en MB (E-46) el peso de inicio fue de 175.61g y al final de la prueba se obtuvo 235.00g. Los peces sin inyección de oxígeno en MB (E-47) iniciaron con un peso promedio de 175.69g, y al finalizar la prueba se obtuvo 227.00g.

En la Tabla 3, la biomasa de inicio en los estanques 46 y 47 fueron de 1319.46 kg y 1319.40kg respectivamente, y al finalizar las pruebas las biomásas obtenidas fueron 1757.10kg y 1671.49kg respectivamente. Bergheim (2006) en pruebas de cultivo de salmónidos, logró obtener un incremento de biomasa de 32700 kg en jaulas sin inyección de oxígeno y 37900 kg en jaulas con inyección de oxígeno, denotando diferencias significativas con el empleo de esta tecnología.

Tabla 3: Consolidado datos de crecimiento E-46 y E-47

<i>Descripción</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
<i>Nº Muestras</i>	4	4
<i>Peso prom. inicial (g)</i>	175.61	178.78
<i>Peso prom. Final (g)</i>	235.00	228.00
<i>Talla prom. Inicial (cm)</i>	25.01	25.16
<i>Talla prom. final (cm)</i>	27.10	26.80
<i>Biomasa inicial (Kg)</i>	1319.46	1319.40
<i>Biomasa final (Kg)</i>	1757.10	1671.47
<i>Densidad inicial (Kg/m3)</i>	16.49	16.49
<i>Densidad Final (Kg/m3)</i>	21.96	20.89
<i>Ganancia de biomasa (Kg)</i>	437.64	352.07

En la figura 16 se observa la dinámica del incremento de peso de trucha arcoíris; en general se observa que el crecimiento en ambos tratamientos fue similar hasta el muestreo 3, pero ya hacia el final del experimento, el peso promedio de los peces cultivados sin inyección de microburbujas (E-47), solamente incrementaron en 49.22 g; mientras que en el grupo de peces cultivados bajo la inyección de microburbujas (E-46) el incremento fue de 59.39 g (gráfica 9). Por lo tanto, al final del experimento, hubo un incremento en el peso de biomasa total desde el inicio y hasta el final de 352.07 kg sin inyección de microburbujas y 437.53 kg con inyección de microburbujas (gráfica 10). Pizarro et al. (2022), consiguió en un mes un incremento de 87.43 g en truchas cultivadas sin inyección de microburbujas, en cambio las truchas que fueron cultivadas bajo inyección de microburbujas obtuvieron un incremento de peso de 89.25 g durante la fase de engorde. Estos resultados mencionados reflejan un aumento en peso de truchas cultivadas bajo la inyección de oxígeno industrial, sin embargo, los resultados obtenidos en este experimento fueron menores, ya que el experimento se realizó durante 22 días.

Tabla 4: Peso promedio (g) por fechas de muestreo de truchas arcoíris (*O. mykiss*).

<i>Fecha</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
<i>21-Mar</i>	175.61	178.78
<i>28-Mar</i>	196.00	195.10
<i>4-Abr</i>	214.50	211.40
<i>11-Abr</i>	235.00	228.00

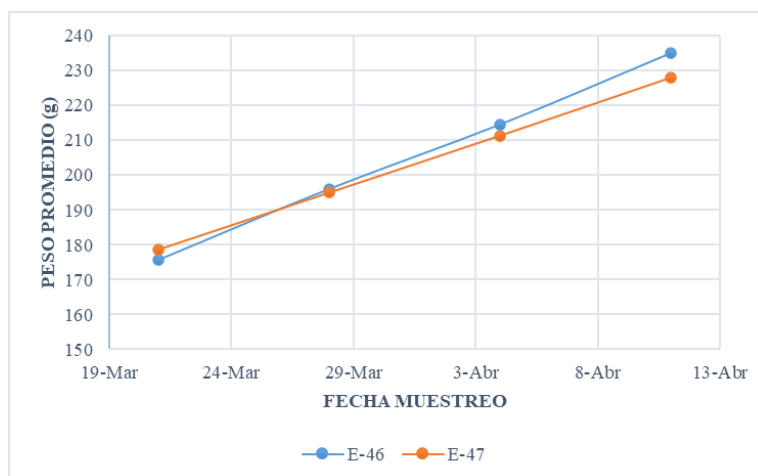


Figura 16: Incremento de pesos promedios (g) de truchas arcoíris (*O. mykiss*) con y sin inyección de oxígeno en MB

4.2.2. Tasa de crecimiento específico (SGR)

Según la tabla 5, para el grupo de peces cultivados sin inyección de MB (E-47), se obtuvo un SGR de 1.06%, mientras que los peces cultivados bajo inyección de MB (E-46) presentaron un valor de 1.27%. Bergheim (2006) en pruebas de rentabilidad de inyección de oxígeno, logró determinar que el SGR de peces en jaulas con inyección de oxígeno en MB fue significativamente mayor (0.58%) que la de los peces en jaula control (0.50%). Los valores obtenidos en estos últimos fueron inferiores a lo obtenido en este trabajo, sin embargo, se denota la diferencia de valores en ambos casos. Person-Le Ruyet et al. (2008) obtuvo valores de SGR de 1.70% y 1.21% en cultivo de truchas arcoíris en la fase engorde, a niveles de oxígeno de 12mg/L y 6mg/L respectivamente, representando un mejor crecimiento a niveles más altos de oxígeno; Biasato et al. (2022) obtuvo un valor

de 0.9% en truchas arcoíris en la fase engorde a niveles de oxígeno disuelto de 7.6 – 8.7 mg/L en cultivos en estanques, siendo un resultado inferior a lo que se obtuvo en este experimento. De modo similar Gómez (2017) obtuvo un SGR de 1.66% y Rosales (2016) obtuvo 1.96%, valores superiores a los obtenidos en truchas cultivadas bajo inyección de oxígeno en MB

Tabla 5: Valores de Tasa específica de crecimiento (SGR) promedios acumulados obtenidos

<i>Fecha</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
28-Mar	1.57%	1.25%
4-Abr	1.29%	1.15%
11-Abr	1.30%	1.08%
Total	1.27%	1.06%

En la figura 27 se observa la variación del SGR en el tiempo del tratamiento, denotando una disminución en ambos casos, los valores representados para peces con inyección en microburbujas fueron superiores en todo momento.

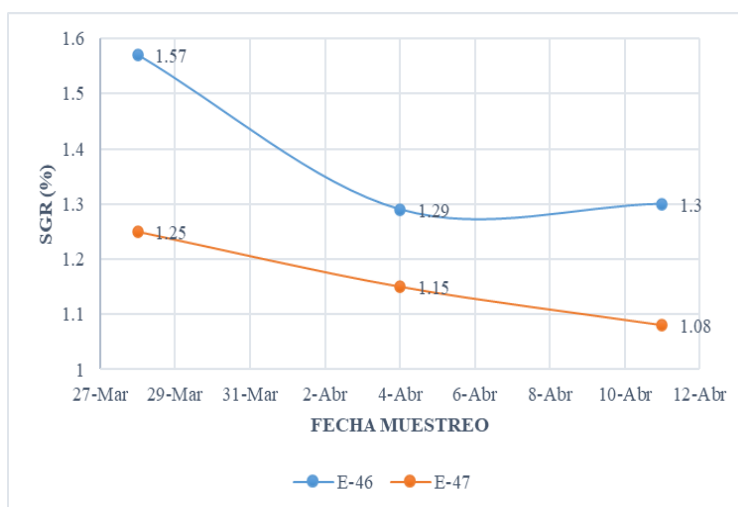


Figura 17: Comparación de SGR obtenido en truchas arcoíris (*O. mykiss*) con y sin inyección de oxígeno en MB.

4.2.3. Factor de conversión alimenticia (FCA)

En la Tabla 6, se muestra el FCR en el estadio de engorda de trucha arcoíris, para los peces cultivados con inyección de oxígeno en MB (E-46), se obtuvo un FCR de 1.20; sin embargo, los peces cultivados sin inyección de oxígeno en MB (E-47) presentaron un índice de 1.32. Bergheim (2006) logró determinar un índice de 1.20 en peces cultivados con inyección de oxígeno en microburbujas, mientras que el grupo control presentó un índice de 1.27, siendo este último menos eficiente. Pizarro et al. (2022), en cambio, obtuvo valores de 1.2 y 1.4 en truchas cultivadas con micronanoburbujas y sin micronanoburbujas respectivamente; valores muy similares que obtuvimos para el grupo de truchas cultivadas con y sin inyección de microburbujas. Yapuchura et al. (2018) sostiene que los valores de FCA de 1.2 se consideran aceptables en crías en zonas altoandinas. Person-Le Ruyet et al. (2008) obtuvo valores de FCR de 0.85 y 0.97 en cultivo de truchas arcoíris en la fase engorde, a niveles de oxígeno de 12mg/L y 6mg/L respectivamente con densidades de siembra similares al presente trabajo, denotando en ambos casos una optimización en el suministro y aprovechamiento del alimento; Sin embargo, Biasato et al. (2022) obtuvo un valor de 1.72 en truchas arcoíris en la fase engorde, denotando un alto índice comparado a lo obtenido en el experimento.

Tabla 6: Valores de factor de conversión alimenticia (FCR) promedios acumulados obtenidos

<i>Fecha</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
<i>28-Mar</i>	0.99	1.28
<i>4-Abr</i>	1.18	1.33
<i>11-Abr</i>	1.12	1.35
<i>Media</i>	1.20	1.32

En figura 18 se observa la variación del FCR en el tiempo del tratamiento, denotando una tendencia de aumento en ambos casos. Los valores representados para peces con inyección en microburbujas fueron inferiores en todo momento, denotando una optimización en el aprovechamiento del alimento suministrado.

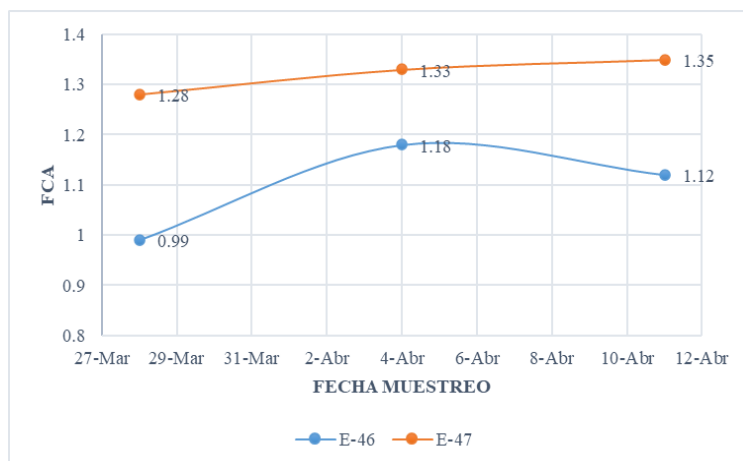


Figura 18: Comparación de FCR obtenido en truchas arcoíris (*O. mykiss*) con y sin inyección de oxígeno en MB.

4.2.4. Factor de condición (K)

En la Tabla 7, para los peces cultivados en ambos tratamientos presentaron un valor K de 1.16. Biasato et al. (2022), obtuvo factor de condición promedio de 1.19, siendo mayores a los valores obtenidos en el experimento, sin embargo, no presentaron niveles de desnutrición. Pizarro et al. (2022) sostiene que los valores mayores a 1.5 son indicadores de una sobre alimentación a los peces; sin embargo, valores menores a 1 denotan signos de desnutrición. El otorgamiento de mayor cantidad de alimento podría deberse a que las tablas de alimentación proporcionadas por las empresas generalmente sobreestiman la cantidad de alimento (Yapuchura et al. 2018). Person-Le Ruyet et al. (2008) durante la fase de engorde de trucha arcoíris, mantuvo un factor de condición (K) de 1.3 – 1.4 para peces cultivados a niveles bajos de oxígeno (6mg/L), y 1.4-1.5 a 1.7 en el grupo de peces cultivados a niveles altos de oxígeno (12mg/L).

Tabla 7: Valores de factor de condición (K) promedio

<i>Fecha</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
<i>21-Mar</i>	1.12	1.12
<i>28-Mar</i>	1.15	1.16
<i>4-Abr</i>	1.17	1.16
<i>11-Abr</i>	1.18	1.18
<i>Media</i>	1.16	1.16

En la figura 19 se observa la variación en el tiempo del Factor K en ambos tratamientos; la curva mostrada en peces cultivados con oxígeno en MB (E-46) fue inferior hasta el muestreo 2, marcando una tendencia de aumento y superando el Factor K de peces cultivados sin inyección de oxígeno en MB (E-47). Al final del muestreo los valores llegaron a igualarse.

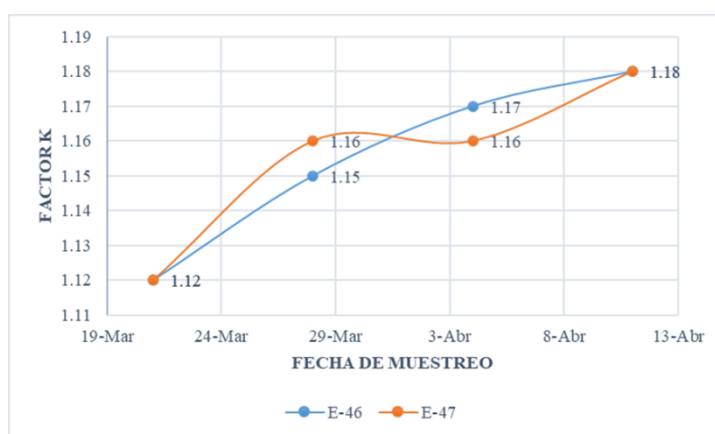


Figura 19: Comparación de Factor K obtenido en truchas arcoíris (*O. mykiss*) con y sin inyección de oxígeno en MB.

4.2.5. Coeficiente de variación

En la Tabla 8, se muestra el coeficiente de variación en el estadio de engorda de trucha arcoíris, para los peces cultivados con inyección de oxígeno en MB (E-46), se obtuvo un CV final de 7.29%; mientras que peces cultivados sin inyección de oxígeno en MB (E-47) presentaron un CV de 8.01%, presentando este último una mayor dispersión que la anterior, sin embargo, se encuentran dentro del valor óptimo, ya que Arutaype (2021) obtuvo coeficientes de variaciones de 8.9 y 4.2% en truchas arcoíris en la fase engorde, en promedios de pesos finales similares a los de los tratamientos. Person-Le Ruyet et al. (2008) no obtuvo diferencias significativas en el coeficiente de variación en truchas cultivadas bajo dos niveles diferentes de oxígeno (6 y 12 mg/L), el CV del peso fue 17.3% en el día 0 y del 25 al 27% en el día 84. El régimen de alimentación de la trucha arcoíris se ha optimizado para minimizar la competencia y, por lo tanto, la agresión, asegurando que todos los peces tengan acceso al alimento (da Silva et al., 2016). Es por ello que un

adecuado suministro de alimento, y la dosificación de frecuencias establecidas, sumado a las selecciones por tallas reduce la dispersión, evitando el canibalismo, e incremento de la tasa de conversión alimenticia entre los mismos. Los valores mencionados fueron superiores a los obtenidos en este trabajo de experimentación, ya que el inicio de pruebas mencionado por el autor presentó una mayor dispersión, y el tiempo de cultivo fue más prolongado.

Tabla 8: Valores de Coeficiente de Variación (CV) promedio

<i>Fecha</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
<i>21-Mar</i>	5.83	7.33
<i>28-Mar</i>	6.34	7.47
<i>4-Abr</i>	7.75	8.83
<i>11-Abr</i>	7.29	8.01

En la figura 20 se muestra la variación en el tiempo del Coeficiente de Variación obtenido para el grupo de peces cultivados con y sin inyección de oxígeno en MB aumentaron con el tiempo hasta el tercer muestreo (4 abril), luego ambos tendieron a disminuir hasta el final del experimento; la curva del CV en peces cultivados con oxígeno en MB (E-46) fue inferior que los peces cultivados sin oxígeno en MB (E-47).

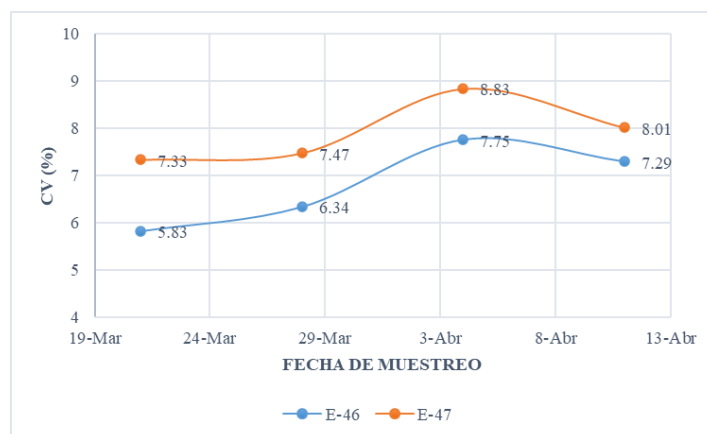


Figura 20: Comparación de coeficiente de variación obtenido en truchas arcoíris (*O. mykiss*) con y sin inyección de oxígeno en MB.

4.2.6. Tasa de supervivencia

En la Tabla 9, se muestra la tasa de supervivencia de la trucha arcoíris, durante el periodo de tratamiento de las pruebas; para los peces cultivados con oxígeno en MB (E-46) se obtuvo una tasa de supervivencia final de 99.51%; mientras que peces cultivados sin inyección de oxígeno en MB (E-47) presentaron una tasa de supervivencia final de 99.34%, presentando esta última un ligero incremento de peces muertos que el anterior, sin embargo en ambos casos el porcentaje presentado se encuentra dentro del rango permitido para truchas en la fase de engorde, comparado con Bergheim (2006) , donde obtuvo una tasa de supervivencia de 98.3% en solmónidos cultivados sin inyección de oxígeno en MB, y 98.9% en salmónidos cultivados con inyección de oxígeno en MB. Así mismo, Rashidian et al. (2021), obtuvieron $95.22 \pm 1.44\%$ de supervivencia, sin embargo, Aksakal & Ekinci (2021) obtuvieron $97.60 \pm 1.60\%$ de supervivencia, representando un valor menor supervivencia al de los tratamientos. En complemento de ello, Biasato et al. (2022) obtuvo una tasa de mortalidad 4% (96% supervivencia) cultivado en condiciones de oxígeno más favorables comparado a los realizados durante el experimento. Person-Le Ruyet et al. (2008) en las pruebas realizadas bajo diferentes niveles de oxigenación obtuvo tasas de mortalidades aproximadas de 1.3 (98.7% supervivencia) y 1.6% (98.4% supervivencia) para cultivo en niveles de 12 y 6 mg/L respectivamente, durante 84 días de tratamiento, presentando una menor tasa de mortalidad a un mayor nivel de oxigenación y viceversa; estos resultados fueron superiores a los obtenidos en el presente trabajo. Bergheim (2006) sostiene también que inyectar oxígeno en jaulas durante períodos cálidos prolongados, como en agosto-octubre, puede ser vital para evitar una mortalidad masiva.

Tabla 9: Valores de Tasa de supervivencia (%)

<i>Fecha</i>	<i>E-46</i>	<i>E-47</i>
<i>28-Mar</i>	99.8	99.73
<i>4-Abr</i>	99.64	99.51
<i>11-Abr</i>	99.51	99.33
<i>Media</i>	99.51	99.33

En la figura 21 se muestra la variación en el tiempo de la Tasa de Supervivencia (%) obtenido para el grupo de peces cultivados con y sin inyección de oxígeno en MB marcaron tendencias de reducción en el tiempo hasta el final del experimento; sin embargo, la curva en peces cultivados con oxígeno en MB (E-46) fueron superior que los peces cultivados sin oxígeno en MB (E-47). De alguna u otra manera, el nivel óptimo de tasa de mortalidad presentado en peces de E-46, se refleja con la oxigenación en MB por parte del abastecimiento del sistema generador de oxígeno, y en el E-47 si bien no tuvo inyección de oxígeno en MB, presentó aireación constante debido a la caída de agua al ingreso del estanque; Sierra y Molina (2019) sostienen que la mortalidad se considera como una medida del mejoramiento o detrimento de las condiciones de cultivo al implementar los equipos de oxigenación como de aireación.

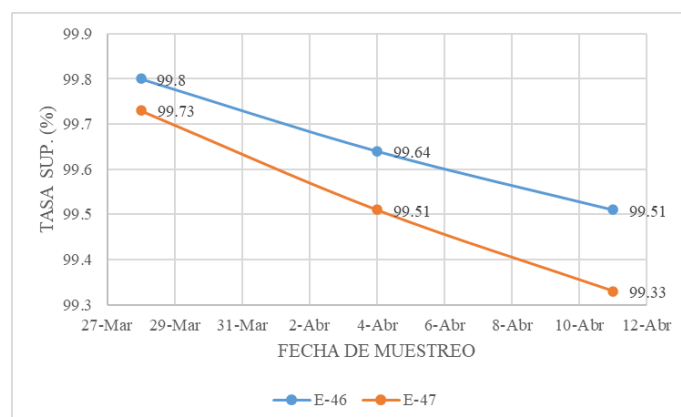


Figura 21: Comparación de % de supervivencia obtenido en truchas arcoíris (*O. mykiss*) con y sin inyección de oxígeno en MB.

4.3. Costos y presupuestos

4.3.4. Presupuesto para la implementación del sistema generador de oxígeno

El subproyecto cumplió con un cronograma de adquisiciones y contrataciones. La ejecución se realizó en tres etapas o hitos, y el desembolso del presupuesto se realizó durante los meses de enero (mes 1) del 2021 a marzo (mes 15) del 2022, tal como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10: Cronograma de desembolsos

	HITO 1	HITO 2	HITO 3
Periodo (mes)	Mes 1 - 6	Mes 7 - 11	Mes 12 - 15
TOTAL PNIPA .	S/.291,140.00	S/.92,303.33	S/.41,556.67
TOTAL PISCIFACTORIA PEÑA.	S/.103,620.00	S/.59,546.67	S/.19,833.33
TOTAL POR HITO	S/.394,760.00	S/.151,850.00	S/.61,390.00
TOTAL GENERAL:	S/.608,000.00		

El cofinanciamiento por parte del PNIPA representó un total de S/. 425,000.00, mientras que la entidad ejecutora Piscifactoría Peña representó una contrapartida de S/. 183,000.00 durante toda la ejecución del subproyecto.

La ejecución del subproyecto presentó un presupuesto total de S/. 608,000.00, el cual se categorizó en 4 componentes, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11: Presupuesto total del subproyecto

	Componente	Presupuesto
1	Diseño y desarrollo del plan experimental.	S/290,900.00
2	Validación del plan experimental.	S/45,000.00
3	Componente de Fortalecimiento Institucional	S/211,700.00
4	Gestión del subproyecto	S/60,400.00
	Total	S/608,000.00

4.3.5. Utilidad en la producción del ensayo de prueba

La ejecución del ensayo de prueba utilizando un estanque de cultivo de trucha en la fase de engorde con inyección de oxígeno (E-46) demandó un mayor costo de producción, siendo de 12.20 soles por kilogramo de trucha producida, en comparación del estanque tipo control (E-47), que representó un valor de 12 soles por kilogramo de trucha

producida. En la Tabla 12 se presenta el valor de la utilidad neta obtenida en la producción.

Tabla 12: Utilidad neta de producción

	E-46	E-47
Costo total	S/21,436.62	S/20,057.64
Ingreso total	S/28,113.60	S/26,473.52
Utilidad	S/6,676.98	S/6,415.88

En la Tabla 12 se observa que la utilidad obtenida en la producción de truchas cultivadas bajo inyección de oxígeno presentó un valor mayor (**S/6,676.98**) al de los peces cultivados en condiciones normales (**S/6,415.88**), presentando una diferencia neta de **S/261.10**; a pesar del mayor costo de producción en el uso de sistema de oxigenación, donde influye la depreciación del equipo generador de oxígeno, así como también el gasto de combustible diario del grupo electrógeno, sin embargo, el tiempo de pruebas fueron limitados, ya que solamente se puso en funcionamiento por 22 días, a 4 horas diarias, y las incidencias de los sedimentos que disminuyeron la oxigenación óptima del estanque. Adicionalmente a ello, la mejora del diseño del sedimentador hubiera permitido un mejor rendimiento del sistema aplicado.

La empresa Piscifactoría Peña ha implementado el sistema de distribución de oxígeno para un total de 7 estanques, y lo que se espera con ello es poder expandir las horas y los días de uso de inyección de oxígeno, para obtener una ganancia de biomasa neta no menor a 200kg por estanque con respecto a los estanques cultivados a condiciones normales; de esta manera se espera obtener una ganancia aproximada de 1500kg mensualmente con la totalidad de todo el sistema implementado.

V. CONCLUSIONES

Se logró implementar de manera satisfactoria el sistema de oxigenación hacia los estanques de engorde de trucha arcoíris en la empresa Piscifactoría Peña S.A.C., a través del subproyecto PNIPA-ACU-SIA-PP-000841. El costo total de la implementación de la planta de oxígeno fue de S/. 608,000.00, donde el cofinanciamiento del PNIPA representó el 70%, y la entidad ejecutora Piscifactoría Peña SAC representó en un 30% del monto total.

La utilidad neta en la producción de truchas durante el ensayo de pruebas para el estanque E-46 con inyección de oxígeno presentó un valor mayor (**S/6,676.98**) al de los peces cultivados en condiciones normales E-47 (**S/6,415.88**), representando una mejor rentabilidad durante el proceso de la fase engorde.

Se concluye que la inyección de oxígeno en microburbujas incrementó la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en el agua, en el estanque N°46 (5.73 mg/L), en comparación con el estanque N°47 (5.53 mg/L), teniendo un incremento de 0.20mg/L. Los valores de temperatura y pH medidos en ambos tratamientos no presentaron diferencias significativas. El suministro de oxígeno total empleado a cada estanque de prueba fue de 1.6 m³/h, teniendo en consideración que el proyecto busca poner en funcionamiento 7 estanques de cultivo de la fase engorda.

En cuanto al crecimiento, las truchas cultivadas con oxígeno en microburbujas (E-46) alcanzaron los mayores pesos finales (235.0 g) con una tasa de crecimiento específico (SGR) de 1.25% a los 22 días de tratamiento, seguido por las truchas cultivadas sin oxigenación en microburbujas (E-47) (228.0 g) con un SGR de 1.06% en el mismo periodo de tratamiento.

Las truchas cultivadas con oxigenación en microburbujas (E-46) obtuvieron un FCA igual a 1.20, respecto a las truchas cultivadas sin microburbujas (E-47), donde obtuvieron un

FCA igual a 1.32, evidenciándose en este último una ineficiencia en el aprovechamiento del alimento suministrado.

El factor de condición K obtenido en las muestras de ambos estanques (E-46 y E-47) no presentaron diferencias, siendo este un valor de 1.16.

El coeficiente de variación obtenido en truchas cultivadas con oxigenación en microburbujas (E-46) obtenido fue 7.29%, respecto al estanque sin inyección de oxígeno, donde presentaron mayor dispersión en pesos, siendo éste de 8.01%.

La menor presión atmosférica presenta menor porcentaje de saturación, factor que influyó en los resultados de oxígeno disuelto de ambas pruebas.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener mayor número de repeticiones con la finalidad de obtener datos productivos más representativos.

Realizar un programa de mantenimiento preventivo a las válvulas tipo esférica que conectan la manguera con los difusores, para graduar de manera óptima el caudal de oxígeno.

Implementar protocolos de seguridad y salud ocupacional adecuado para el funcionamiento y manipulación de los equipos y materiales mencionados en el presente trabajo.

Implementar un nuevo sedimentador, diseñado para retener las partículas finas que no afecten la operatividad del sistema de microburbujas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdalla, M., Tastan, Y., Bilen, S., Terzi, E., Yavuz, A. (2023). Dietary flaxseed (*Linum usitatissimum*) oil supplementation affects growth, oxidative stress, immune response, and diseases resistance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 138(2023), Article 108798. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.108798>.

Aksakal, E., Ekinici, D. (2021). Effects of hypoxia and hyperoxia on growth parameters and transcription levels of growth, immune system and stress related genes in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 262(2021), pp. 2-9.

Arana, E., Chapell, J., Hanson, T., Amezquita, J., Romellon, F., Quiñonez, A.,...Quintero, H. (2018). Demostración comercial de raceways en estanque. *Global aquaculture advocate*, pp 1-12. Recuperado de <https://www.globalseafood.org/advocate/demostracion-comercial-de-raceways-en-estanque/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>.

Arutaype, R. (2021). Adaptabilidad de tres variedades de trucha (*oncorhynchus mykiss*) procedentes de ovas importadas de diferentes países, cultivados en jaulas flotantes, bajo las mismas condiciones, en la represa san José de uzuña, polobaya-arequipa. (En línea). (Tesis Ingeniero Pesquero). Arequipa: Perú. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Revisado el 28 de octubre del 2023. Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12276/IPtoarrj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ATLAS COPCO. (2016). PSA oxygen generators. pp 12-21 Disponible en <https://www.atlascopco.com/es-pe/compressors/service/parts/air-compressor-parts/2904500276>.

Barboza, M. J., Mírez, Y. Vásquez, N. L. (2022). Diagnóstico situacional de la crianza de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la provincia de Chota, Región Cajamarca, Perú. *Revista EIA*, 19(38), Reia3833. pp. 1-12. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1596>.

Bastardo, A., Sierralta, V., León, J.; Ravelo, C., Romalde, J. (2011). Phenotypical and genetic characterization of *Yersinia ruckeri* strains isolated from recent outbreaks in farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) in Peru. *Aquaculture*, 317(2011), pp 229-232. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.03.040>.

Bergheim, A., Gausen, M., Naes, A., Holland, S., Krogedal, P., Crampton, V. (2006). A newly developed oxygen injection system for cage farms. *Aquacultural Engineering*. 34(2006), pp 40-46. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.003>.

Biasato, I., Chemello, G., Bellezza, S., Ferroccino, I., Corvaglia, M., Caimi, C.,... Gasco, L. (2022). *Hermetia illucens* meal inclusion in low-fishmeal diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on the growth performance, nutrient digestibility coefficients, selected gut health traits, and health status indices. *Acuicultura*. (en línea). 290(2022), pp 7. Consultado el 15 de octubre del 2023. Disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0377840122001390?token=E43C977857994B9413A273CD1D9F2E22CD87AC9368A74EB2C762A95B54A408C567545F0C77E3D186147984817E15972E&originRegion=us-east-1&originCreation=20220801234153>.

Bilotta, G. & Brazier, R. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research* 42, pp 2849-2861.

Blanco, M. (1995). *La trucha: Cría industrial*. Madrid: Mundi prensa, pp 15-350.

Bögner, D., Bögner, M., Schmachtl, F., Bill, N., Halfer, J., Slater, M. (2021). Hydrogen peroxide oxygenation and disinfection capacity in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 92(2021). Article 102140. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102140>.

Boyd, C. & Tucker, C. (1998). POND AQUACULTURE WATER QUALITY MANAGEMENT. pp 46-49. DOI 10.1007/978-1-4615-5407-3.

Burke, M., Grant, J., Filgueira, R., Swanson, A. (2022). Oxygenation effects on temperature and dissolved oxygen at a commercial Atlantic salmon farm. *Aquacultural Engineering*. 99(2022), Article 102287. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102287>.

Camacho B., E., M. Moreno R., M. Rodríguez G., C. Luna Romo y M. Vásquez. (2000). Guía para el cultivo de trucha. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. 135p.

Da Silva, R, Kitagawa, A, Sanchez, F. (2016). Dietary self-selection in fish: a new approach to studying fish nutrition and feeding behaviour. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 26 (1) (2016), pp. 39-51, 10.1007/s11160-015-9410-1.

De la Oliva, G. (2012). Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el Cultivo de trucha arco iris.

Eliason, E.J. & Farrel, A.P. (2014). Effect of hypoxia on specific dynamic action and postprandial cardiovascular physiology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Com. Biochem. Physiol., Part A*, 149 (2008), pp. 380-388. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2014.01.021>.

Endo, A., Srithongouthai, S., Nashiki, H., Teshiba, I., Iwasaki, T., Hamab, D., Tsutsumic, H. (2008). DO-increasing effects of a microscopic bubble generating system in fish farm. *Marine Pollution Bulletin*. 57(2008), pp 78-85. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.10.014>.

FAO. (2014). Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris (en línea). GU, 39p. Revisado el 11 de octubre del 2023. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>.

Fatima, S., Komal, W., Manzoor, F., Abdul, A., Liagat, R., Ameen, S., Shahnawaz, R. (2021). Analysis of the growth performance, stress, profile of fatty acids and amino acids and cortisol in Tilapia (*Oreochromis niloticus*), cultured at high stocking density using in-pond raceway system. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2021), pp 7422-7431. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.048>.

FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero). (2014). Manual de Crianza en Ambientes Convencionales. Lima: Ministerio de la Producción.

Gómez, Y. (2017). Crecimiento de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la etapa de engorde alimentadas ad libitum y convencionalmente en Chucasuyo-Juli. (En línea). (Tesis Licenciado en Biología). Chucasuyo-Juli, Perú. Universidad Nacional del Altiplano. Verificado el 01 de noviembre del 2023. Disponible en http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7155/Gomez_Mulluni_Yohe_Da_rwin.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Hoyos, D. (2011). Evaluación del impacto de la retención de sólidos suspendidos en los estanques de cultivo de trucha sobre la calidad fisicoquímica del agua para la producción de peces. Grupo de investigación: Estudio y control de la contaminación. Cali: Escuela de Recursos Naturales del Ambiente, pp 20-24. Disponible en

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/2b22ba8c-33b9-4974-8b41-3eeab04e829f/content>.

INAPESCA (2012). Carta Nacional Acuícola. México: SAGARPA, pp-99-100.

Disponible en

<https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/transparencia/transparenciafocalizada/cna-06062012/>.

KLONTZ, G. (1991). Fish for the future: concepts and methods of insive aquaculture. Idaho Forest, Wildlife and Range Experiment tion, Universidad of Idaho, Idaho, USA, 192 p.

Llerena, C.A. (2007). Identificación y descripción anatomohistopatológica de lesiones encontradas en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) fase juvenil en piscigranjas de la provincia de Jauja, Junín (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Revisado el 30 de octubre del 2023. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5835/Llerena_zc.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

López Y., Trujillo E., Fonseca G., Martínez V. (2005). Identificación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, que se alteran por uso acuícola. México D.F.:Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Revisado el 30 de octubre del 2023. Disponible en: <https://docplayer.es/32762568-Identificacion-de-las-caracteristicas-fisicas-quimicas-y-microbiologicas-del-agua-que-se-alteran-por-uso-acuicola.html>.

Lugert, V, Thaller, G, Tetens, J, Schulz, C, Krieter, J. (2014). A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. Rev. Aquac., 8 (2014), pp. 30-42. Revisado el 29 de octubre del 2023. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/raq.12071>.

Maillard, V., Boardman, G., Nyly, J., Kuhn, D. (2005). Water quality y sludge characterization at raceways-system trout farms. *Aquacultural Engineering* 33(2005), pp 271-284.

Parrado, Y. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia. *Revista Aquatic*, n°37, pp. 60-77. ISSN 1578-4541. Revisado el 02 de noviembre del 2023. Disponible en: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/37_9.pdf.

Person-Le Ruyet, J, Lábbe, L; Le Bayron, N, Sévere, A, Le Roux, A, Le Delliou, H, Quéméner, L. (2008). Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). (en línea). *Aquat Living Resour* 21: 185-195. doi: 10.1051/ alr:2008024. Revisado el 17 de abril del 2022. Disponible en <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1051/alr:2008024>.

Petit, J. (2020). Utilisation de l'oxygène pur en pisciculture. *Aquaculture in heated effluents and recirculation systems*, Vol. 1, Heenemann Verlagsgesellschaft, 1981, 3-87903-055-3. Revisado el 05 de noviembre del 2023. Disponible en: https://hal.science/hal-01600256v1/file/Peti1981Conf_1.pdf.

Pizarro, R, Ochoa, WW, Tineo, VS; Tello, DS; Pariona, LD, Ochoa, DW, Castro, TS, Tenorio, SM. (2022). Efecto de la oxigenación con micronanoburbujas en la calidad de agua y producción de “truchas” *Oncorhynchus mykiss*. En línea. *Revista científica*: 84-98. ISSN:2709-2275. Verificado el 05 de noviembre del 2023. Disponible en: <https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/84>.

PRODUCE (Ministerio de la Producción). (2022). Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Trucha. Lima, Sistema Nacional de Acuicultura Integrada, pp. 9-10.

Rashidian, G, Abedian Kenari, A, Nikkhah, M. (2021). Dietary effects of a low-molecular weight fraction (<10 kDa) from shrimp waste hydrolysate on growth performance and immunity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Employing nanodelivery systems.

Fish & Shellfish Immunology, 118(2021), pp. 294-302. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.09.014>.

Roh, H. & Hyung Kim, D. (2022). Identification, classification and functional characterization of HSP70s in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) through multi-omics approaches. Fish & Shellfish Immunology, 121(2022), pp 205-214. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.059>.

Royer, E., Faccenda, F., Pastres, R. (2021). Estimating oxygen consumption of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a raceway: A Precision Fish Farming approach. Aquacultural Engineering, 92(2021), Article 102141. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102141>.

Sanchooli, N., Padnejak, H., Sudagar, M., Pezhman, S., Shekarabi, H., Rahdari, A. (2023). Growth promoting and immunomodulatory effects of dietary Moringa oleifera leaf powder in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture reports, 30(2023), Article 101555. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101555>.

True, B., Johnson, W., Chen, S. (2004). Reducing phosphorus discharge from Flow-through aquaculture I: facility y effluente characterization. Aquacultural Engineering 32(2004), pp 129-144.

Yapuchura, C., Mamani, S., Pari, D. & Flores, E. (2018). Curvas de crecimiento y eficiencia en la alimentación de truchas arcoiris (*Oncorhynchus mikyss*) en el costo de producción. Comuni@cción, 9(1), 68-77. Revisado el 07 de noviembre del 2023. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S221971682018000100007&lng=es&tlng=es.

Vásquez, W., Talavera, M., Inga, M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Arapa – Puno. Revista de la Sociedad Química del Perú, 82(1), 15-28. Revisado el 03 de noviembre del 2023. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X2016000100003&lng=es&tlng=es.

ANEXOS

ANEXO 1: Vista de los estanques de cultivo de la empresa Piscifactoría Peña S.A.C.



ANEXO 2: Implementación del sistema generador de oxígeno



ANEXO 3: Sistema generador de oxígeno acondicionado para su utilización



ANEXO 4: Medición de parámetros físico químicos



ANEXO 5: Sistema de distribución de oxígeno en los estanques tipo raceways.



ANEXO 6: Instalación de difusores de cerámica a los estanques de cultivo.



ANEXO 7: Primeras pruebas de funcionamiento del sistema de oxigenación



ANEXO 8: Visita de monitores técnicos del subproyecto PNIPA, para la supervisión del subproyecto.



ANEXO 9: Red general de distribución de oxígeno y sistema de difusores



ANEXO 10: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-46, mes de marzo.

salida	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
7:00 a. m.											
ingreso	6.74	6.90	6.68	5.69	5.90	6.01	6.72	6.61	6.83	6.81	5.85
salida	5.68	6.62	6.56	5.42	5.87	5.92	5.90	6.37	6.40	6.37	5.77
8:00 a. m.											
ingreso	6.85	6.87	6.60	5.69	5.80	6.07	6.62	6.15	6.81	6.72	5.80
salida	5.21	6.86	6.20	5.68	5.94	5.90	5.96	5.74	6.37	6.20	5.88
9:00 a. m.											
ingreso	6.97	6.80	6.17	5.69	5.91	6.21	6.86	6.02	6.72	5.77	6.10
salida	5.05	6.75	6.10	5.66	5.84	5.65	5.65	5.89	6.20	5.33	4.66
10:00 a. m.											
ingreso	6.82	6.65	6.42	5.36	6.73	5.54	6.08	5.87	6.51	6.21	5.61
salida	5.15	6.47	6.31	5.34	6.33	5.27	5.03	5.66	6.01	5.44	5.82
11:00 a. m.											
ingreso	6.10	6.45	6.01	5.67	6.66	5.47	6.07	5.46	6.26	7.00	6.65
salida	5.36	6.33	6.00	5.62	6.39	5.07	5.81	5.65	5.44	6.67	5.24
12:00 p. m.											
ingreso	5.70	6.49	6.09	5.96	6.54	5.51	6.07	5.78	6.59	7.52	6.00
salida	4.98	6.17	5.95	5.60	6.40	5.06	5.64	5.62	5.74	7.05	5.87
1:00 p. m.											
ingreso	5.63	6.44	6.50	6.04	6.32	5.75	5.81	6.27	7.45	6.98	6.65
salida	5.04	5.99	6.35	6.03	5.91	5.40	5.33	6.04	7.11	6.85	5.91
2:00 p. m.											
ingreso	5.19	6.88	6.22	6.15	6.01	5.71	5.50	6.05	7.24	6.72	6.61
salida	4.73	6.56	6.10	6.04	5.76	5.30	5.14	5.88	6.90	5.81	5.25
3:00 p. m.											
ingreso	5.55	6.54	5.61	5.98	6.22	5.40	5.40	5.85	6.77	6.42	5.52
salida	5.12	6.25	5.50	5.67	5.74	5.02	4.87	5.67	5.46	5.11	5.50
4:00 p. m.											
ingreso	5.39	6.96	5.39	5.89	6.32	5.65	5.56	5.69	6.69	6.62	6.34
salida	4.81	6.90	5.17	5.59	5.55	5.25	5.34	5.42	6.63	5.32	6.29
5:00 p. m.											
ingreso	5.38	6.92	5.14	6.08	6.30	5.30	4.95	5.50	6.50	6.22	6.36
salida	4.83	6.90	5.12	5.78	5.89	5.03	4.32	5.29	6.48	5.45	6.29
Ingreso	PROMEDIO										6.18
Salida	PROMEDIO										5.78
\bar{x}	PROMEDIO GENERAL										5.98

ANEXO 11: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-46, mes de abril.

ingreso y salida	Abril, Oxígeno Disuelto (mg/L)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7:00 a. m.											
ingreso	6.44	6.70	5.73	5.25	5.67	6.25	6.03	5.40	6.74	6.22	6.20
salida	5.98	5.60	4.93	4.49	4.45	6.13	5.55	5.11	6.50	5.91	6.21
8:00 a. m.											
ingreso	6.31	6.67	5.63	4.94	4.73	6.03	5.81	5.55	6.95	6.09	6.40
salida	5.44	5.21	4.54	4.13	4.15	5.97	5.65	5.36	6.63	5.68	6.11
9:00 a. m.											
ingreso	6.20	6.63	4.99	4.37	5.48	5.93	5.88	5.49	6.23	5.93	6.70
salida	5.01	4.95	4.32	4.01	4.32	6.18	5.65	5.32	6.10	5.62	5.87
10:00 a. m.											
ingreso	6.85	6.70	4.42	4.16	5.02	5.97	5.78	5.44	6.10	5.79	6.54
salida	6.38	4.54	4.05	3.75	4.17	5.97	5.59	5.28	6.12	5.61	6.41
11:00 a. m.											
ingreso	7.12	6.76	5.21	4.47	5.20	5.98	5.69	5.46	6.01	5.66	6.22
salida	6.95	5.71	5.03	3.90	4.12	5.63	5.40	5.19	5.86	5.45	6.18
12:00 p. m.											
ingreso	6.80	6.65	5.79	4.50	4.81	5.82	5.10	5.24	5.62	5.29	6.43
salida	6.60	6.00	4.33	4.46	4.55	5.65	4.96	4.99	5.58	5.02	6.17
1:00 p. m.											
ingreso	6.78	6.67	4.88	5.01	4.20	5.87	5.03	5.36	5.53	5.80	6.39
salida	5.85	5.82	4.26	4.70	3.76	6.40	4.83	5.35	5.47	5.65	6.37
2:00 p. m.											
ingreso	6.59	6.39	4.97	4.75	4.34	6.05	5.04	5.48	5.55	5.73	6.71
salida	5.57	5.53	4.32	4.49	4.02	5.65	4.91	5.21	5.43	5.59	6.37
3:00 p. m.											
ingreso	6.60	5.59	4.25	5.01	4.48	5.93	4.89	5.27	5.66	5.83	6.71
salida	5.43	4.98	3.77	4.60	4.29	5.48	4.70	5.15	5.44	5.62	5.84
4:00 p. m.											
ingreso	6.74	5.02	5.26	5.45	4.56	5.58	4.74	5.27	5.42	6.05	6.45
salida	6.03	4.42	4.22	4.65	4.22	5.47	4.56	5.05	5.33	5.91	5.88
5:00 p. m.											
ingreso	6.59	5.23	5.33	5.25	4.61	5.60	5.15	5.43	5.65	6.22	6.36
salida	5.98	4.68	4.12	4.68	4.01	5.44	4.95	5.36	5.46	5.97	6.12
Ingreso	PROMEDIO GENERAL										5.70
Salida	PROMEDIO GENERAL										5.26
\bar{x}	PROMEDIO GENERAL										5.48

ANEXO 12: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-47, mes de marzo.

Ingreso y salida	Marzo										
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
07:00:00											
Ingreso	6.74	6.90	6.68	5.69	5.90	6.01	6.72	6.61	6.83	6.81	5.85
Salida	5.68	6.62	6.56	5.42	5.87	5.92	5.90	6.37	6.40	6.37	5.77
08:00:00											
Ingreso	6.85	6.87	6.60	5.69	5.80	6.07	6.62	6.15	6.81	6.72	5.80
Salida	5.21	6.86	6.20	5.68	5.94	5.90	5.96	5.74	6.37	6.20	5.88
09:00:00											
Ingreso	6.97	6.80	6.17	5.69	5.91	6.21	6.86	6.02	6.72	5.77	6.10
Salida	5.05	6.75	6.10	5.66	5.84	5.65	5.65	5.89	6.20	5.33	4.66
10:00:00											
Ingreso	6.82	6.65	6.42	5.36	6.73	5.54	6.08	5.87	6.51	6.21	5.61
Salida	5.15	6.47	6.31	5.34	6.33	5.27	5.03	5.66	6.01	5.44	5.82
11:00:00											
Ingreso	6.10	6.45	6.01	5.67	6.66	5.47	6.07	5.46	6.26	7.00	6.65
Salida	5.36	6.33	6.00	5.62	6.39	5.07	5.81	5.65	5.44	6.67	5.24
12:00:00											
Ingreso	5.70	6.49	6.09	5.96	6.54	5.51	6.07	5.78	6.59	7.52	6.00
Salida	4.98	6.17	5.95	5.60	6.40	5.06	5.64	5.62	5.74	7.05	5.87
13:00:00											
Ingreso	5.63	6.44	6.50	6.04	6.32	5.75	5.81	6.27	7.45	6.98	6.65
Salida	5.04	5.99	6.35	6.03	5.91	5.40	5.33	6.04	7.11	6.85	5.91
2 PM											
Ingreso	5.19	6.88	6.22	6.15	6.01	5.71	5.50	6.05	7.24	6.72	6.61
Salida	4.73	6.56	6.10	6.04	5.76	5.30	5.14	5.88	6.90	5.81	5.25
15:00:00											
Ingreso	5.55	6.54	5.61	5.98	6.22	5.40	5.40	5.85	6.77	6.42	5.52
Salida	5.12	6.25	5.50	5.67	5.74	5.02	4.87	5.67	5.46	5.11	5.50
16:00:00											
Ingreso	5.39	6.96	5.39	5.89	6.32	5.65	5.56	5.69	6.69	6.62	6.34
Salida	4.81	6.90	5.17	5.59	5.55	5.25	5.34	5.42	6.63	5.32	6.29
17:00:00											
Ingreso	5.38	6.92	5.14	6.08	6.30	5.30	4.95	5.50	6.50	6.22	6.36
Salida	4.83	6.90	5.12	5.78	5.89	5.03	4.32	5.29	6.48	5.45	6.29
Ingreso	PROMEDIO										5.98
Salida											5.44
\bar{x}	PROMEDIO GENERAL										5.71

ANEXO 13: Mediciones de oxígeno disuelto al ingreso y salida del estanque E-47, mes de abril.

Ingreso y salida	Abril										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
07:00:00											
Ingreso	6.44	6.70	5.73	5.25	5.67	6.25	6.03	5.40	6.74	6.22	6.20
Salida	5.98	5.60	4.93	4.49	4.45	6.13	5.55	5.11	6.50	5.91	6.21
08:00:00									6.95	6.09	6.40
Ingreso	6.31	6.67	5.63	4.94	4.73	6.03	5.81	5.55	6.95	6.09	6.40
Salida	5.44	5.21	4.54	4.13	4.15	5.97	5.65	5.36	6.63	5.68	6.11
09:00:00											
Ingreso	6.20	6.63	4.99	4.37	5.48	5.93	5.88	5.49	6.23	5.93	6.70
Salida	5.01	4.95	4.32	4.01	4.32	6.18	5.65	5.32	6.10	5.62	5.87
10:00:00											
Ingreso	6.85	6.70	4.42	4.16	5.02	5.97	5.78	5.44	6.10	5.79	6.54
Salida	6.38	4.54	4.05	3.75	4.17	5.97	5.59	5.28	6.12	5.61	6.41
11:00:00											
Ingreso	7.12	6.76	5.21	4.47	5.20	5.98	5.69	5.46	6.01	5.66	6.22
Salida	6.95	5.71	5.03	3.90	4.12	5.63	5.40	5.19	5.86	5.45	6.18
12:00:00											
Ingreso	6.80	6.65	5.79	4.50	4.81	5.82	5.10	5.24	5.62	5.29	6.43
Salida	6.60	6.00	4.33	4.46	4.55	5.65	4.96	4.99	5.58	5.02	6.17
13:00:00											
Ingreso	6.78	6.67	4.88	5.01	4.20	5.87	5.03	5.36	5.53	5.80	6.39
Salida	5.85	5.82	4.26	4.70	3.76	6.40	4.83	5.35	5.47	5.65	6.37
2 PM											
Ingreso	6.59	6.39	4.97	4.75	4.34	6.05	5.04	5.48	5.55	5.73	6.71
Salida	5.57	5.53	4.32	4.49	4.02	5.65	4.91	5.21	5.43	5.59	6.37
15:00:00											
Ingreso	6.60	5.59	4.25	5.01	4.48	5.93	4.89	5.27	5.66	5.83	6.71
Salida	5.43	4.98	3.77	4.60	4.29	5.48	4.70	5.15	5.44	5.62	5.84
16:00:00											
Ingreso	6.74	5.02	5.26	5.45	4.56	5.58	4.74	5.27	5.42	6.05	6.45
Salida	6.03	4.42	4.22	4.65	4.22	5.47	4.56	5.05	5.33	5.91	5.88
17:00:00											
Ingreso	6.59	5.23	5.33	5.25	4.61	5.60	5.15	5.43	5.65	6.22	6.36
Salida	5.98	4.68	4.12	4.68	4.01	5.44	4.95	5.36	5.46	5.97	6.12
Ingreso	PROMEDIO										5.62
Salida	PROMEDIO										5.09
\bar{x}	PROMEDIO GENERAL										5.35