



Efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico sobre la productividad de alevines de *Oncorhynchus mykiss*.

Padilla González Carolina Doménica

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Dr. Ortíz Tirado Juan Cristobal

DIRECTOR

Ing. Rivera Mayo Patricia Margarita

CODIRECTORA

27 de enero del 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de ingeniería agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, *“Efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico sobre la productividad de alevines de *Oncorhynchus mykiss*”* fue realizado por la señorita **Padilla González, Carolina Doménica**; el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de enero del 2022

Firma



Firmado electrónicamente por:

JUAN
CRISTOBAL

.....ORTIZ TIRADO

Dr. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal

C.C: 170999816-3



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Padilla Gonzalez, Carolina Doménica**, con cédula de ciudadanía n° 172763024-4, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico sobre la productividad de alevines de *Oncorhynchus mykiss****. es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 24 de enero del 2022

Firma

Padilla Gonzalez, Carolina Doménica

C.C: 172763024'4



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo, **Padilla Gonzalez, Carolina Doménica**, con cédula de ciudadanía n° 172763024-4, Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***Efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico sobre la productividad de alevines de *Oncorhynchus mykiss**** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 de enero del 2022

Firma

Padilla Gonzalez, Carolina Doménica

C.C: 1727630244

Reporte de verificación de similitud de contenidos



Tesis Carolina Domenica Padilla Gonzalez Copyleaks.docx

Scanned on: 18:49 January 20, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	189
Words with Minor Changes	32
Paraphrased Words	47
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses

Firma



Firmado electrónicamente por:

JUAN
CRISTOBAL
ORTIZ TIRADO

Dr. Ortíz Tirado, Juan Cristóbal

C.C: 170999816-3

Dedicatoria

A mis padres Edison y Mariela, mi mayor inspiración, que con su amor y apoyo me han permitido culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermano David, mi persona favorita, por su cariño y apoyo incondicional.

A mis amigos, por apoyarme en los momentos más difíciles y brindarme su amistad.

Agradecimiento

De manera especial quiero agradecer Al Dr. Juan Ortiz por los conocimientos impartidos, quien con su dirección, paciencia y predisposición permitió llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Alejandro De La Roche, por haberme recibido en el Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC y por brindarme todo el apoyo necesario para la culminación de la presente investigación.

A la ingeniera Margarita Rivera, quiero agradecer inmensamente el apoyo brindado, la confianza depositada en mí, su ayuda incondicional y por la amistad que en el transcurso de esta investigación hemos llegado a entablar.

A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí, en lo académico y en lo personal, ustedes son mi pilar, mi fortaleza y mi más grande ejemplo a seguir, gracias por inculcarme valores que me ayudarán en mi vida profesional y personal, sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis amigos, que estimo tanto gracias por creer en mí, por ser parte de esta meta, por todos los buenos y malos momentos que hemos compartido en este largo camino.

Carolina Padilla

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Responsabilidad de Autoría	3
Autorización de Publicación	4
Reporte de verificación de similitud de contenidos	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I.....	18
Introducción.....	18
Antecedentes	18
Justificación e importancia del tema	20
Objetivos	21
<i>Objetivo general</i>	21
<i>Objetivos específicos</i>	21
Hipótesis	21
Capítulo II.....	22
Marco referencial.....	22
Introducción de la trucha arcoíris en el Ecuador	22
Origen y distribución	22
Taxonomía	23

Morfología	23
Hábitat y comportamiento	25
Etapas de desarrollo.....	25
Calidad del agua	26
<i>Parámetros de calidad de agua</i>	26
<i>Fuentes de agua empleadas en este estudio</i>	38
Alimentación	42
<i>Frecuencia de alimentación para alevines</i>	43
Probióticos en la acuicultura	44
Definición de probiótico.....	44
<i>Situación actual</i>	44
<i>Mecanismos de acción y beneficios</i>	45
<i>Producto comercial FreshPlus®</i>	46
Capítulo III.....	49
Materiales y métodos	49
Ubicación y características del área de estudio.....	49
Material experimental	50
<i>Biológicos</i>	50
<i>Insumos de campo</i>	50
<i>Equipos</i>	51
<i>Reactivos</i>	51
<i>Insumos de laboratorio</i>	51
Instalación del ensayo.....	51
Período de adaptación y siembra de peces.....	52

	10
Manejo del cultivo	54
Variables de estudio.....	57
<i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las fuentes de agua</i>	57
<i>Parámetros morfométricos</i>	59
<i>Parámetros productivos</i>	59
Análisis estadístico	61
Capítulo IV.....	62
Resultados y discusión	62
Resultados.....	62
<i>Parámetros Fisicoquímicos medidos “in situ”</i>	62
<i>Parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua</i>	70
<i>Parámetros microbiológicos de las fuentes de agua</i>	75
<i>Parámetros morfométricos</i>	77
<i>Parámetros productivos</i>	85
<i>Análisis de regresión</i>	102
Capítulo V.....	105
Conclusiones y recomendaciones	105
Conclusiones	105
Recomendaciones	106
Bibliografía	107

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica de la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss)</i>	23
Tabla 2 <i>Parámetros fisicoquímicos del agua requerida para el cultivo de Truchas</i>	27
Tabla 3 <i>Contenido de nitrógeno amoniacal (TAN) en agua dulce diluida en función al pH y la temperatura</i>	33
Tabla 4 <i>Parámetros físico-químicos del agua termal de la parroquia Papallacta</i>	39
Tabla 5 <i>Calidad del alimento por estadios</i>	43
Tabla 6 <i>Frecuencia de alimentación de acuerdo al estadio de la trucha arcoíris</i>	44
Tabla 7 <i>Principales cepas usadas en el cultivo de trucha arcoíris</i>	46
Tabla 8 <i>Descripción de los factores y niveles de estudio</i>	54
Tabla 9 <i>Norma de alimentación diaria (%) de trucha arcoíris según el peso y la temperatura del agua. Elaborada por Titarev (1980)</i>	54
Tabla 10 <i>Metodología para la medición “in situ” de parámetros fisicoquímicos</i>	56
Tabla 11 <i>Etapas efectuadas para el análisis de calidad de agua</i>	58
Tabla 12 <i>Análisis fisicoquímico inicial de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio</i>	70
Tabla 13 <i>Análisis fisicoquímico final de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio</i>	71
Tabla 14 <i>Análisis microbiológico inicial de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio</i>	75
Tabla 15 <i>Análisis microbiológico final de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio</i>	75
Tabla 16 <i>Medias \pm desviación estándar del peso corporal de Oncorhynchus mikyss bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico</i>	77
Tabla 17 <i>Medias \pm desviación estándar del peso corporal de Oncorhynchus mikyss a través del tiempo</i>	77
Tabla 18 <i>Medias \pm desviación estándar de la longitud total de Oncorhynchus mikyss bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico</i>	80

Tabla 19 <i>Medias \pm desviación estándar de la longitud total de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a través del tiempo</i>	81
Tabla 20 <i>Medias \pm desviación estándar del ancho total de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico</i>	82
Tabla 21 <i>Medias \pm desviación estándar del ancho total de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a través del tiempo</i>	83
Tabla 22 <i>Medias \pm desviación estándar de la ganancia de peso (g/día) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico.....</i>	85
Tabla 23 <i>Medias \pm desviación estándar de la ganancia de peso de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a través del tiempo.....</i>	86
Tabla 24 <i>Medias \pm desviación estándar de la ganancia de peso (g/día) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico.....</i>	88
Tabla 25 <i>Medias \pm desviación estándar del índice de condición corporal de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico.....</i>	88
Tabla 26 <i>Medias \pm desviación estándar de la tasa de crecimiento específico de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico.....</i>	90
Tabla 27 <i>Medias \pm desviación estándar de la tasa de crecimiento específico de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a los 90 días del experimento.....</i>	90

Tabla 28 <i>Medias \pm desviación estándar del coeficiente de crecimiento térmico de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico durante el experimento</i>	92
Tabla 29 <i>Medias \pm desviación estándar del coeficiente de crecimiento térmico de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a los 90 días del experimento</i>	93
Tabla 30 <i>Medias \pm desviación estándar del factor de conversión alimenticia de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico durante el experimento</i>	95
Tabla 31 <i>Medias \pm desviación estándar del factor de conversión alimenticia de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a través del tiempo</i>	95
Tabla 32 <i>Medias \pm desviación estándar de la eficiencia de conversión alimenticia <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico durante el experimento</i>	97
Tabla 33 <i>Medias \pm desviación estándar de la eficiencia de conversión alimenticia de <i>Oncorhynchus mikyss</i> bajo dos fuentes de agua a través del tiempo</i>	98
Tabla 34 <i>Medias \pm desviación estándar de la tasa de supervivencia (%) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> por cada tratamiento a través del tiempo</i>	100
Tabla 35 <i>Medias \pm desviación estándar de la tasa de supervivencia (%) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> por cada tratamiento al final del experimento</i>	100

Índice de figuras

Figura 1 <i>Morfología externa de la trucha arcoíris (Juvenil)</i>	24
Figura 2 <i>Morfología interna de la trucha arcoíris (Juvenil)</i>	24
Figura 3 <i>Curvas de tasa-temperatura</i>	29
Figura 4 <i>Curvas de velocidad-temperatura</i>	29
Figura 5 <i>Relación de NH₃, NH₄⁺ con el pH en aguas dulce, estuarinas y de mar</i>	33
Figura 6 <i>Formas de carbono inorgánico a diferentes pH</i>	35
Figura 7 <i>Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC</i>	49
Figura 8 <i>Instalación del ensayo</i>	52
Figura 9 <i>Disposición de las unidades experimentales</i>	53
Figura 10 <i>Protocolo de elaboración de 1 Kg de alimento más probiótico</i>	55
Figura 11 <i>Esquema para la toma de muestras de agua del estudio</i>	57
Figura 12 <i>Temperatura de las dos Fuentes de Agua</i>	62
Figura 13 <i>Oxígeno de las dos Fuentes de Agua</i>	63
Figura 14 <i>Saturación de Oxígeno de las dos Fuentes de Agua</i>	65
Figura 15 <i>Conductividad Eléctrica de las dos Fuentes de Agua</i>	66
Figura 16 <i>pH de las dos Fuentes de Agua</i>	67
Figura 17 <i>Salinidad de las dos fuentes de agua</i>	69
Figura 18 <i>Comportamiento de la variable peso (g) por cada tratamiento</i>	78
Figura 19 <i>Promedio del peso corporal (g) de Oncorhynchus mikyss a través del tiempo bajo dos fuentes de agua</i>	79
Figura 20 <i>Comportamiento de la variable longitud (cm) por cada tratamiento</i>	81
Figura 21 <i>Promedio de la longitud total (cm) de Oncorhynchus mikyss a través del tiempo bajo dos fuentes de agua</i>	82

Figura 22 Comportamiento de la variable ancho total (cm) por cada tratamiento	83
Figura 23 Promedio del ancho total (cm) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> a través del tiempo bajo dos fuentes de agua.....	84
Figura 24 Comportamiento de la variable ganancia de peso (g/día) por cada tratamiento	86
Figura 25 Promedio de la ganancia de peso (g/día) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> a través del tiempo bajo dos fuentes de agua	87
Figura 26 Comportamiento de la variable índice de condición corporal por cada tratamiento ...	89
Figura 27 Comportamiento de la variable tasa de crecimiento específico por cada tratamiento	91
Figura 28 Comportamiento de la variable coeficiente de crecimiento térmico por cada tratamiento.....	94
Figura 29 Comportamiento de la variable factor de conversión alimenticia por cada tratamiento.....	96
Figura 30 Promedio del Factor de Conversión Alimenticia de <i>Oncorhynchus mikyss</i> a Través del Tiempo Bajo dos Fuentes de Agua	96
Figura 31 Comportamiento de la variable factor de conversión alimenticia por cada tratamiento.....	98
Figura 32 Promedio de la ganancia de peso (g/día) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> a través del tiempo bajo dos fuentes de agua	99
Figura 33 Comportamiento de la tasa de supervivencia (%) de <i>Oncorhynchus mikyss</i> por cada tratamiento a través del tiempo	101
Figura 34 Relación entre el peso (g) y la longitud (cm)	102
Figura 35 Relación entre el peso (g) y el ancho (cm)	103
Figura 36 Relación entre el ECA (%) y FCA.....	104

Resumen

El siguiente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos fuentes de agua (Natural= proveniente del río Papallacta y Temperada= agua natural + agua geotermal) y dieta con diferentes dosis (0 g, 6 g y 12 g) del probiótico Fresh Plus® sobre la productividad de alevines de *Oncorhynchus mykiss*. Se seleccionaron 540 animales de un peso promedio inicial de $0,34 \pm 0,05$ g. Se midieron variables morfométricas y productivas cada 15 días. Durante el período experimental se tomaron mediciones “in situ” de parámetros fisicoquímicos diariamente. Adicionalmente, se realizó 2 análisis de calidad de agua al inicio y final de la investigación. El peso corporal, longitud total, ancho total, ganancia de peso diario, tasa de crecimiento específico, factor de conversión alimenticia y la eficiencia alimenticia se vieron significativamente afectados por la fuente de agua ($P < 0,05$). No se encontró un efecto significativo de la interacción fuente*probiótico para el índice de condición corporal ($P=0,71$), el coeficiente de crecimiento térmico ($p=0,86$) ni la tasa de supervivencia ($P > 0,05$). Los peces sometidos a la fuente agua temperada presentaron mejores parámetros morfométricos y productivos con respecto a los peces de la fuente de agua natural. No obstante, la eficiencia alimenticia fue mayor en los animales sometidos al agua natural y los peces presentaron una tendencia a una mayor supervivencia con la adición de probióticos. Además, los análisis de calidad de agua demuestran que es posible llevar a cabo un cultivo intensivo durante la época fría con el uso de una fuente de agua temperada.

Palabras clave: trucha arcoíris, fuente de agua temperada, fuente de agua natural, probiótico

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of two water sources (Natural = from the Papallacta river and tempered = natural water + geothermal water) and diet with different doses (0 g, 6 g and 12 g) of the probiotic Fresh Plus[®] on the productivity of *Oncorhynchus mykiss* fry. 540 animals were selected with an initial average weight of 0.34 ± 0.05 g, which were distributed in 18 experimental units. The morphometric and productive variables were measured every 15 days. During the experimental period, daily "in situ" measurements of physicochemical parameters were made. Additionally, 2 water quality analyzes were carried out at the beginning and at the end of the investigation. Body weight, total length, total width, daily weight gain, specific growth rate, feed conversion factor, and feed efficiency were significantly affected by water source ($P < 0.05$). No significant effect of source*probiotic interaction was found for body condition factor ($P=0.71$), thermal growth coefficient ($p=0.86$), or survival rate ($P > 0.05$). The fish submitted to the tempered water source presented better morphometric and productive parameters with respect to the fish from the natural water source. Nevertheless, feed efficiency was higher in animals submitted to natural water and fish showed a tendency for higher survival with the addition of probiotics. In addition, water quality analyzes show that it is possible to carry out intensive cultivation during the cold season with the use of tempered water source.

Keywords: rainbow trout, tempered water source, natural water source, probiotic

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En la última década la Acuicultura se ha presentado como la actividad productiva con mayor crecimiento a nivel mundial con respecto a otros sectores de la producción de alimentos (FAO, 2018). Este crecimiento se atribuye a la demanda alimenticia por el incremento exponencial de la poblacional mundial, desempeñando un papel fundamental respecto a la seguridad alimentaria (FAO, 2009), y además se refleja en las cifras productivas de varias especies de interés comercial, entre ellas, la producción mundial de salmónidos, que para el 2019 asciende a 5 millones de toneladas (FAO, 2021a). Como se nota, la actividad acuícola surge como una óptima fuente de alimentación futura. Siendo la acuicultura una actividad que está en auge a nivel mundial, Ecuador no es la excepción, donde este sector exhibe una participación económica de aproximadamente 5% del Producto Interno Bruto Agropecuario (Carrión, 2019). Dentro de esta economía se percibe la participación de distintas especies cultivadas a nivel nacional como la trucha arcoíris que se ha presentado como una alternativa productiva en la sierra ecuatoriana para pequeños y medianos productores y, cuya producción es de 4 mil Ton. representando un rubro de 28 mil dólares en al año 2019 (FAO, 2021b).

El Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC es una dependencia de la Subsecretaría de Acuicultura del Ecuador, encargada de apoyar con asesorías, capacitaciones, dotaciones y venta de alevines para piscicultores de la Región Andina del país. Actualmente el CENIAC, busca alternativas que contribuyan al fomento de su producción para poder proveer a los productores de semilla de buena calidad al implementar estrategias que aporten a las mejoras en crecimiento y disminución en mortalidad.

De entre las varias alternativas que se pueden considerar para mejorar la productividad de trucha arcoíris, se destaca la regulación de la temperatura del agua, como un factor determinante para el crecimiento, puesto que estimula el metabolismo y otras respuestas fisiológicas de estos peces (Blaxter, 1991). Los rangos de temperatura de agua admisibles para esta especie son de 13-18°C, siendo lo óptimo 15°C (FAO, 2014). En el CENIAC se cuenta con agua termal de fuentes naturales originarias del complejo volcánico Chacana, empíricamente en la estación, se ha comprobado que al mezclar esta agua temperada junto con el agua fría para el cultivo de trucha arcoíris, el crecimiento de los peces se vio fortalecido, sin embargo, no se cuenta con evidencia experimental que afiance su uso en las condiciones productivas del Centro. No obstante, existen estudios como el de Eya et al. (2017) que demuestran la efectividad del manejo de temperaturas de 14°C con un efecto positivo en el crecimiento de trucha arcoíris.

Por otro lado, considerando que durante las épocas invernales la calidad del agua se ve afectada, en el CENIAC se han presentado elevadas tasas de mortalidad que podrían mejorar con el uso de probióticos, mismos que se presentan como una alternativa reciente y prometedora para contribuir en la salud del hospedador. Los probióticos se definen como microorganismos vivos viables que aplicados en dosis adecuadas, alteran la microflora del huésped proporcionándole efectos beneficiosos en la salud e inmunidad del mismo (Schrezenmeir & De Vrese, 2001). Los posibles beneficios de la administración de probióticos en trucha son; la eliminación de bacterias patógenas y restauración de la microbiota intestinal, además de mejorar la disponibilidad de nutrientes y la digestión enzimática (Balcázar et al., 2007). Sin embargo, es primordial incrementar la seguridad de la aplicación de probióticos para mejorar el desarrollo productivo y comercial del cultivo de trucha arcoíris en el país (García et al., 2015).

Justificación e importancia del tema

El Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC de Papallacta es la principal entidad pública que provee de semilla de trucha arcoíris a productores de pequeña y mediana escala de la Región Andina del país, siendo indispensable generar un producto de alta calidad para satisfacer los procesos productivos de los piscicultores, sin embargo, durante la época invernal, la temperatura del agua tiende a decaer por debajo de los parámetros óptimos disminuyendo la actividad metabólica de los peces y por ende retrasando los ciclos de producción establecidos.

La época invernal provoca también cambios en la calidad de agua de cultivo de los peces, tal como el incremento de la turbidez del agua por el arrastre de sedimentos e impurezas del fondo del río limitando así la capacidad de los animales para capturar el alimento al disminuir el campo visual en el medio en el que se encuentran, además la cantidad y tamaño de las partículas suspendidas en el agua son un riesgo en la salud del animal, dado que los peces podrían sufrir daños a nivel intestinal como resultado del consumo de estas partículas. Consecuentemente se han registrado elevadas tasas de mortalidad especialmente en la etapa de alevinaje, donde los animales aún no han desarrollado por completo las competencias fisiológicas que les permitan resistir estos cambios drásticos del agua.

Bajo este contexto es necesario buscar alternativas que fortalezcan el sistema inmunológico de los peces como a su vez promuevan un crecimiento óptimo frente a condiciones invernales adversas. Por lo que, en la presente investigación se propone emplear fuentes de agua geotermal para incrementar la temperatura del agua de cultivo y la inclusión de probiótico en el alimento balanceado con el fin de contrarrestar las tasas de mortalidad en la etapa de alevinaje.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto del uso de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico sobre la productividad de alevines de *Oncorhynchus mykiss*.

Objetivos específicos

- Determinar la influencia del agua geotermal, natural y dieta con probiótico sobre parámetros morfométricos en alevines de *Oncorhynchus mykiss*.
- Determinar la influencia del agua geotermal, natural y dieta con probiótico sobre parámetros productivos en alevines de *Oncorhynchus mykiss*.

Hipótesis

H₀: Los alevines de *Oncorhynchus mykiss* criados bajo la influencia del agua geotermal y dieta con probiótico presentan similar crecimiento y mortalidad que los alevines criados con agua natural y dietas convencionales.

H₁: Los alevines de *Oncorhynchus mykiss* criados bajo la influencia del agua geotermal y dieta con probiótico presentan mayor crecimiento y baja mortalidad que los alevines criados con agua natural y dietas convencionales.

Capítulo II

Marco referencial

Introducción de la trucha arcoíris en el Ecuador

En el Ecuador la siembra de trucha arcoíris tuvo inicio en el año de 1928, a través de acuerdos entre el gobierno y una empresa canadiense con el fin de potencializar la crianza de esta especie. En el año 1930 se empezó la construcción de diferentes salas tanto de incubación como de alevinaje en las provincias de Imbabura, Cotopaxi y Azuay, asimismo se introdujo huevos embrionados, que se adaptaron rápidamente a las condiciones agroclimáticas del país permitiendo poblar los sistemas fluviales y lacustres de la Región Interandina (Imaki, 2003). A partir de entonces la actividad trutícola se ha intensificado a nivel Nacional.

Acorde con los datos obtenidos por el Centro de Investigaciones Acuícolas CENIAC (2012), en el país existen alrededor de 213 criaderos que se encuentran distribuidos en las provincias de: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Sucumbíos y Tungurahua siendo Pichincha y Azuay las principales provincias productoras del país.

Origen y distribución

La trucha arcoíris es una especie originaria de América del Norte comprendido desde Alaska a México y es proveniente de algunas especies del pacífico (FAO, 2016). En el siglo XIX fue introducida con fines de pesca deportiva y acuicultura en todos los continentes exceptuando la Antártida (Jacumar & Secretaría Nacional del mar, 2015). En 1950 esta especie se distribuyó de manera más extensa a nivel mundial gracias al desarrollo de los alimentos peletizados (FAO, 2016).

Taxonomía

La clasificación taxonómica de la trucha arcoíris ha sufrido cambios a lo largo del tiempo, uno de los más importantes se determinó a través de estudios osteológicos, bioquímicos y moleculares, con el objetivo de demostrar que la trucha arcoíris y la trucha de Kamchatka son de la misma especie, como también que la trucha arcoíris tiene una estrecha relación con el Salmón del Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*).

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss)

TAXONOMÍA	
Reino:	Animal
Phylum:	Chordata
Subphylum:	Vertebrata
Superclase:	Pisces
Clase:	Osteichthyes
Subclase:	Actinopterygii
Orden:	Salmoniformes
Familia:	Salmonidae
Genero:	<i>Oncorhynchus</i>
Especie:	<i>Mykiss</i>
Nombre Científico:	<i>Oncorhynchus</i>
Nombre común:	Trucha arcoíris

Nota: Adaptado de: The Classification and Scientific Names of Rainbow and Cutthroat Trouts (p.7), por G.Smith & R.Stearley, 1989, *Fisheries* 1(14).

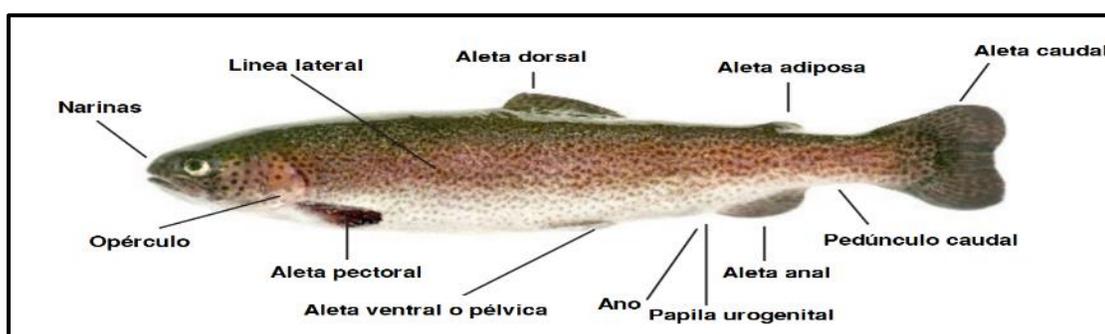
Morfología

La trucha arcoíris tiene como características morfológicas un cuerpo comprimido alargado y fusiforme, con una tira rosada longitudinal muy característica de esta especie que demarcan los flancos, el color puede cambiar dependiendo del hábitat en el que se encuentren (Arregui, 2013). Posee un pedúnculo caudal alto, los machos poseen una boca terminal que en época de desove desarrollan el gancho nupcial característico del mismo, el cuerpo del vómer

dentado en dos hileras y a su vez posee de 100 a 160 pequeñas escamas cicloides a lo largo de la línea lateral (Steinbach, 2003). Debido a que esta especie tiene una estrecha relación con el Salmón del Pacífico, presenta un buen tamaño con una media de 51-76 cm de longitud y peso de 3,6 Kg, pero pueden alcanzar 1,2 metros y pesar 24 Kg (NatGeo, 2010). La morfología externa e interna se indican en las Figura 1 y la Figura 2.

Figura 1

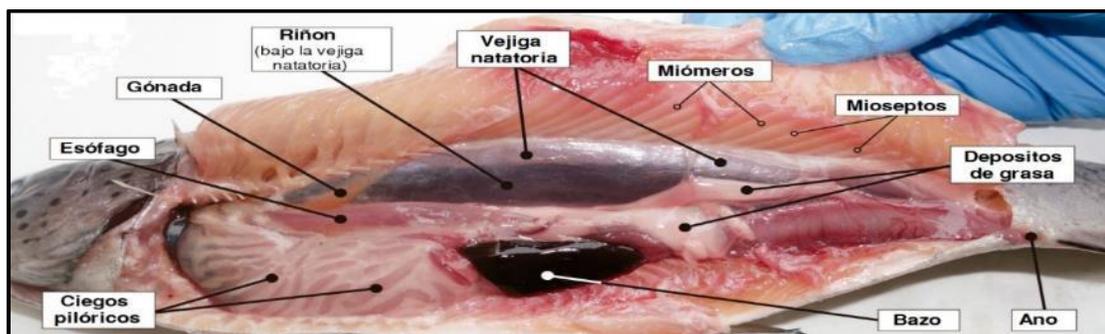
Morfología externa de la trucha arcoíris (Juvenil)



Nota. Adaptado de El cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (p.7), por L. Arregui, 2013, https://www.observatorioacuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno_trucha_digital_web.pdf.

Figura 2

Morfología interna de la trucha arcoíris (Juvenil)



Nota. Adaptado de Anatomía de un vertebrado [Fotografía], por BIOINNOVA, 2016, <https://www.innovabiologia.com/biodiversidad/diversidad-animal/anatomia-oncorhynchus-mykiss/>

Hábitat y comportamiento

La trucha arcoíris es una especie migratoria que se mueve entre el mar y las aguas dulces, es decir que su naturaleza es anádroma, lo cual le ha conferido resistencia a amplios rangos de temperatura y adaptabilidad a diversos ambientes, además de que presenta una alta variación fisiográfica, siendo una de las especies más sencillas de estabular (Jacumar & Secretaría Nacional del mar, 2015). Sin embargo, para que esta especie tenga esta alta adaptabilidad necesita pasar por un proceso de esmoltificación, el cual consiste en una serie de cambios independientes pero coordinados para desarrollar procesos bioquímicos, fisiológicos, morfológicos y conductuales que permiten al salmón juvenil prepararse para su vida en agua normal, por ende, este proceso es de suma importancia ya que aumenta la supervivencia y la aptitud en un nuevo entorno (McCormick & Saunders, 1987).

Etapas de desarrollo

El desarrollo biológico de la trucha arcoíris consta de varias etapas tales como ova, etapa que corresponde a los huevos fecundados, que dura de 2 a 4 semanas (FAO, 2016); alevino, etapa que transcurre desde la eclosión de los huevos fecundados, donde se da la reabsorción del saco vitelino (FAO, 1984), los alevines en esta etapa miden entre 2 a 10cm con un peso que oscila entre 0.15 a 13g (Atencio,1998, como se citó en Salamanca, 2020); cría, donde los animales nadan libremente obteniendo por sí mismos el alimento, su crecimiento y desarrollo dependerá de las condiciones en las que habiten (Jacumar & Secretaría Nacional del mar, 2015); juvenil, en esta etapa los animales ya presentan características propias de la especie, su talla varía de 10 a 20 cm con un peso promedio aproximado de 16 a 90 g; y finalmente la etapa de adulto, donde los peces han ganado peso y están listos para pasar a la etapa de engorde, estos miden entre 20 a 33cm, con un peso promedio de 105 a 330 g (Atencio,1998, como se citó en Salamanca, 2020).

Calidad del agua

El agua es indispensable para el crecimiento y propagación de cualquier especie acuática, ya que juega un papel fundamental en el suministro y eliminación de materiales para los organismos vivos, aporta materiales para la producción y elimina la excreción metabolizada (Sano, 2000).

Parámetros de calidad de agua

Se debe tomar a consideración los parámetros de calidad de agua y medirse periódicamente dependiendo del sistema que se esté manejando, con el fin de evitar patologías, tasas de crecimiento deficientes, estrés y muerte. Los parámetros críticos son la temperatura, pH, oxígeno disuelto y amonio (Sladonja, 2011). Sin embargo, es primordial conocer la relación que existe en cada uno de los parámetros críticos y otros elementos que forman parte de la composición del agua.

Dentro de los parámetros químicos más esenciales se tienen al oxígeno (O_2) y el dióxido de carbono (CO_2) que influyen directamente en los procesos fotosintéticos y respiratorios, como también el nitrógeno que es indispensable para el metabolismo biológico del animal, sin embargo, cuando los organismos lo excretan en forma de amonio (NH_3), puede resultar tóxico en altas cantidades. Otros nutrientes importantes son el fósforo, el potasio y el calcio, la falta de alguno de estos nutrientes se identifican por deficiencia. Finalmente, los factores bióticos también influyen en la composición del agua. Por ejemplo, las algas consumen O_2 y producen CO_2 , a su vez algunos nutrientes pueden ser asimilados por organismos unicelulares y estos pueden incorporarlos al agua en forma de biomoléculas alterando así la composición del agua (Hargreaves, 1998, como se citó en Sladonja, 2011).

La calidad de agua puede afectar en los organismos acuáticos en concentraciones altas y bajas dependiendo del rango de tolerancia por especie, por ejemplo de manera general si se

tiene altas concentraciones de dióxido de carbono, nitrógeno amoniacal, nitrito y sulfuro en los estanques se incrementará la mortalidad, sin embargo, una concentración baja de oxígeno disuelto será el primer factor tóxico que se estimará en el medio, seguidamente los otros factores se volverán tóxicos (Boyd, 2017). Por lo tanto, uno de los aspectos más importantes a considerar para un buen manejo del cultivo de trucha arcoíris es la calidad del agua, cabe recalcar que es muy relevante que el agua sea limpia, que no presente turbidez y que cumpla con normativas establecidas para esta especie como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos del agua requerida para el cultivo de Truchas

Parámetro	Rango
Oxígeno disuelto DO ₂	6.7 a 9
Temperatura para crecimiento	7.2 a 17
pH	6.5 a 8.5
Salinidad (ppt)	0-35
Dióxido de carbono	Menor a 2 mg/l
Calcio	Mayor a 52 mg/l
Zinc	Menor a 0.04 mg/l a pH de 7.6
Amonio	Menor a 0.012 mg/l como NH ₃
Nitrito	Menor a 0.55 mg/l
Nitrógeno	Menor a 110% de saturación total
Sólidos disueltos	Menor a 400 mg/l

Nota: Adaptado de: Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el cultivo de trucha arco iris (p.10), por, G. De La Oliva, 2011, (<https://docplayer.es/6836930-Manual-de-buenas-practicas-de-produccion-acuicola-en-el-cultivo-de-trucha-arco-iris.html>).

Temperatura. Los peces se clasifican de acuerdo a la temperatura del agua, estos pueden ser de agua cálida, donde por lo general presentan una tasa de crecimiento óptimo a una temperatura de 20°C o de agua fría con un crecimiento óptimo a temperaturas inferiores a 20°C, de hecho, la mayoría de las especies acuáticas presentan un alto rango de tolerancia

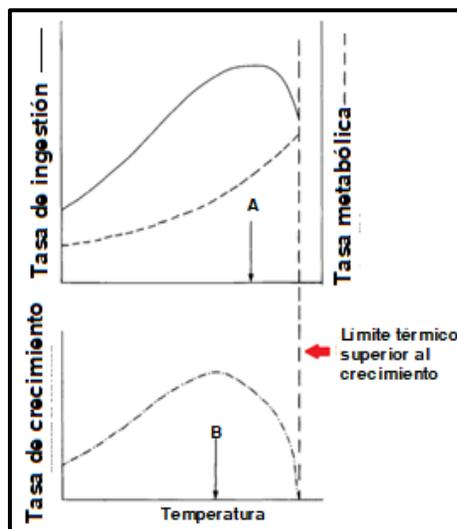
térmica, sin embargo, los cambios bruscos de temperatura desencadenan en estrés e incluso en rangos muy altos la muerte (Boyd, 2017). La temperatura se encuentra relacionada profundamente con la tasa de crecimiento del animal, y es utilizado como indicador en estudios de estrés térmico en algunos organismos acuáticos (Wood & McDonald, 1997).

Por consiguiente, al implementar y usar un sistema geotérmico se debe tomar en cuenta principalmente la temperatura del agua para que se encuentre dentro del rango óptimo, especialmente en el caso de utilizar una alta densidad poblacional por estanque.

Temperatura y metabolismo. Según Jobling (1997) la tasa metabólica de los peces aumenta en función de la temperatura incrementando la demanda energética, por lo tanto, los peces consumen más alimento para compensar las necesidades energéticas y metabólicas, de esta manera la tasa de crecimiento asciende exponencialmente siempre y cuando se encuentre a una temperatura intermedia óptima, caso contrario, si la temperatura es mucho mayor a la óptima de la especie la tasa de ingestión llegará a un declive, en este punto los peces concentrarán su energía para satisfacer las necesidades metabólicas, mas no las de crecimiento (Figura 3). Por el contrario, la eficiencia de conversión alcanza su punto máximo a una temperatura ligeramente menor a la óptima de crecimiento (Figura 4).

Figura 3

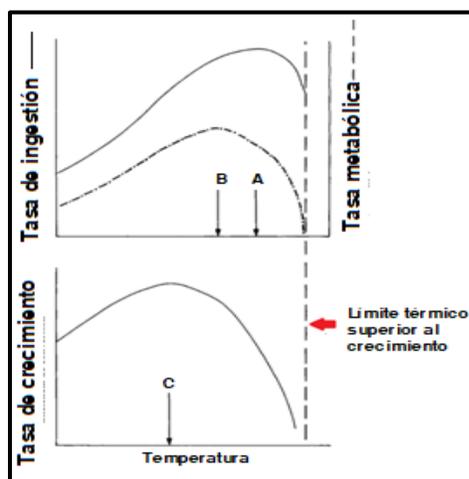
Curvas de tasa-temperatura



Nota. El gráfico representa los efectos de la temperatura sobre las velocidades de ingestión y crecimiento, y la influencia de la temperatura sobre la eficiencia de conversión. Adaptado de *Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature change* (p. 225-254), por M. Jobling, 1997, Cambridge University Press.

Figura 4

Curvas de velocidad-temperatura



Nota. El gráfico representa los efectos de la temperatura sobre las tasas de ingestión, metabolismo y crecimiento. Adaptado de *Temperature and growth: modulation of growth rate via temperature change* (p. 225-254), por M. Jobling, 1997, Cambridge University Press.

Aunque en cultivos artificiales la temperatura toma vital importancia sobre el crecimiento, según Zdanovich et al. (2011), las fluctuaciones de temperatura resultan perjudiciales para los animales poiquiloterms sobre otras funciones vitales, por lo tanto, esta debe ser controlada sin que esta aumente o disminuya de la óptima de la especie, siendo primordial mantener una temperatura entre 14–19°C ya que un aumento de la misma a 22–23°C resultará en la disminución de los ritmos de crecimiento, consumo de alimento y concentración de oxígeno en el agua, además que el aumento de temperatura a 19 y 21 ° C provoca una disminución en los parámetros productivos de la trucha arcoíris tales como; ganancia promedio diaria de peso corporal, tasa de crecimiento, eficiencia de conversión alimenticia y aumento en el gasto de oxígeno para la ganancia de unidad de peso corporal de la trucha arcoíris.

Otras funciones metabólicas influenciadas por la temperatura en esta especie son, por ejemplo, las descritas por Yin et al. (2021), quienes encontraron que la velocidad de nado crítico (Ucrit) en trucha arcoíris disminuyó cuando se incrementó la temperatura de 13,5 a 15,2 °C, por otro lado la eficiencia de utilización de energía se vio afectada a una temperatura de 22,5°C, mientras que la tasa metabólica máxima aumentó en función al aumento de temperatura. Cabe recalcar que al manejar temperaturas óptimas de crecimiento se incrementará el apetito, la tasa de digestión y la cantidad de secreciones producidas en el intestino (Smith & Stearley, 1989). En consecuencia los peces crecerán más rápidamente y convertirán de manera más eficiente el alimento (Masser et al., 1999). Lo mismo se puede observar en un estudio realizado por Brijs et al. (2018) donde determinaron que el incremento de temperatura del agua de cultivo a 15°C aumentó las tasas de absorción de oxígeno intestinal, revelando que el intestino de la trucha arcoíris es altamente metabólico.

Potencial hidrogeno (pH). El pH es un factor físico que permite la medición de hidrogeniones que determinan la acidez o alcalinidad del agua (Gutiérrez, 2014). En acuicultura se debe manejar un pH adecuado para que este no afecte en la salud de los peces; Los rangos óptimos se encuentran oscilando entre 6,5-9, si el agua de cultivo presenta un pH ácido los animales exhiben branquias con mucosidad que no les permite la adecuada fijación de oxígeno (Parrado, 2016), disminuyen su capacidad de mantenimiento del equilibrio iónico interno y presentan cambios a nivel branquial, epitelio y acidosis sanguínea (Wood & McDonald, 1997, como se citó en Boyd, 2017). Por ende, el pH es un factor que cumple un papel fundamental en la estabilidad de la calidad de agua para el adecuado crecimiento de la trucha arcoíris.

Conductividad eléctrica (C.E). La conductividad eléctrica es un factor que no afecta directamente en la salud del pez, sin embargo es usado generalmente como indicador de la calidad de aguas dulces, los rangos óptimos para el cultivo de trucha arcoíris se encuentran entre 543 a 853 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Vásquez et al., 2016). Tanto la conductividad eléctrica como la salinidad se encuentran estrechamente relacionadas, por lo tanto, la capacidad del agua para conducir electricidad aumenta con una concentración de salinidad mayor, de la misma manera la conductividad aumenta con una mayor temperatura (Boyd, 2019).

Oxígeno. El oxígeno es uno de los elementos más indispensables para la mayoría de los organismos vivos, debido a su importancia en diferentes procesos químicos como son; la fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica (Pérez et al., 2013). La concentración de oxígeno disuelto en el agua varía según la especie, por ejemplo, la trucha arcoíris demanda en etapa de crecimiento una concentración de oxígeno de 5 a 5,5 mg/l y en etapa de alevinaje entre 6 a 7 mg/l, con rangos inferiores los animales presentan dificultades para obtener el oxígeno del agua y transportarlo a través de sus branquias (De La Oliva, 2011).

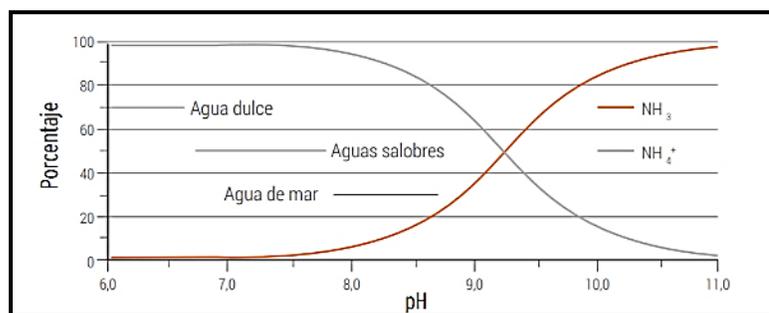
Según De La Oliva (2011), el oxígeno depende de otros factores físicos, químicos y biológicos que determinan su cantidad, tal es el caso de la temperatura y la salinidad, un aumento en estos dos factores, disminuirá la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. por ende, es importante tener un control exhaustivo y una correcta medición del oxígeno en el agua de cultivo.

Compuestos nitrogenados inorgánicos. El metabolismo de los organismos produce una serie de reacciones dando como producto compuestos nitrogenados inorgánicos, que a su vez son eliminados a través de la descomposición realizada por algunas bacterias sobre la materia orgánica (Gutiérrez, 2014). Dentro de los compuestos nitrogenados que se encuentran en los estanques se tiene al amonio, nitritos y nitratos. El movimiento constante de estos compuestos son importantes como indicadores de la autopurificación del agua en relación con el ciclo bioquímico (Sano, 2000).

Amonio. El amonio puede presentarse en dos formas: el no ionizado altamente tóxico (NH_3) y el ionizado no tóxico (NH_4^+), ambos se encuentran en balance químico inducido por la temperatura y el pH (Sladonja, 2011), por ende, su grado de toxicidad fluctúa en función de estos dos factores, siendo el pH uno de los más importantes, debido a que si este aumenta en una unidad provoca el incremento de 10 veces la producción de amonio tóxico (Figura 5), estas sustancias amoniacaes se generan especialmente por las heces de los animales, por lo cual se debe tomar en cuenta la densidad de siembra (de La Oliva, 2011). Por consiguiente, resulta un parámetro de suma importancia en los sistemas acuícolas y el inadecuado control del mismo resulta en una disminución en la ingesta de alimento, la tasa de crecimiento e incluso conduce a la muerte de los organismos (Torres et al., 2015).

Figura 5

Relación de NH_3 , NH_4^+ con el pH en aguas dulce, estuarinas y de mar



Nota. Adaptado de La calidad del agua en la acuicultura (p.28-36), por X. Gutiérrez et al., 2015, Salmonexpert 5.

El contenido de nitrógeno amoniacal total puede ser calculado en base a la temperatura y el pH mediante la calculadora de amoníaco para las diferentes fuentes de agua empleadas en acuicultura como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Contenido de nitrógeno amoniacal (TAN) en agua dulce diluida en función al pH y la temperatura

pH	Temperatura	
	10°C	15°C
7.0	0.002	0.003
7.5	0.005	0.008
8.0	0.0017	0.024
8.5	0.051	0.073
9.0	0.146	0.200
9.5	0.350	0.442

Nota. En esta tabla se muestran los valores de nitrógeno amoniacal total para una fuente de agua dulce diluida típica con una concentración total de sólidos disueltos de 250 mg /L. Adaptado de: General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds (p.155),por, C. Boyd, 2017, Elsevier.

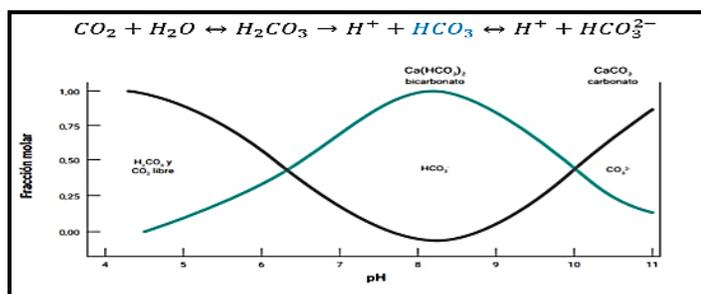
Nitritos y nitratos. Los nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) forman una parte fundamental en la calidad de agua tanto para humanos como animales y su presencia en concentraciones elevadas afecta gravemente a la salud de los organismos acuáticos. Los niveles de nitratos admisibles para peces se encuentran comprendidos entre 0 y 40 ppm y niveles mayores a 80 ppm resultan altamente tóxicos, mientras que niveles de nitritos mayores a 0,75 ppm en el medio producen estrés incluso la muerte cuando superan los 5 ppm (Covarrubias & Ruiz, 2011).

Para mantener un correcto balance de estos compuestos se realizan los procesos de nitrificación y desnitrificación que intervienen en la eliminación de amonio. En el proceso de nitrificación el amonio pasa a nitrato por medio de procesos oxidativos y microbiológicos, mientras que, en el proceso de desnitrificación, el nitrato se reduce a nitrógeno molecular (N_2) (Guo et al., 2018). La nitrificación se da por dos etapas, la primera es llevada a cabo por bacterias Nitrosomonas que llevan al ion amonio a nitrito ($2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$) y las bacterias *Nitrobacter* que convierten el nitrito a nitrato ($2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_3^-$). Por otro lado, en el proceso de desnitrificación actúan algunas bacterias, entre los géneros más importantes se tienen a las *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Escherichia*, *Bacillus* y *Micrococcus*, que ayudan en la oxidación de los nitritos y nitratos a nitrógeno molecular ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$) (Avila & Canul, 2002).

Dióxido de carbono. El CO_2 es un elemento fundamental en el sistema de amortiguación del pH, y se encuentra en el agua libremente como ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}). El CO_2 es un gas que al tomar contacto con el agua se disuelve fácilmente para formar ácido carbónico (H_2CO_3) y dependiendo del pH del agua se disocia en bicarbonato (HCO_3^-) o carbonato (CO_3^{2-}). (Figura 6). De tal manera, es indispensable manejar un pH estable para controlar la toxicidad del amonio, el sulfuro de hidrógeno y los metales (Feest et al., 2020).

Figura 6

Formas de carbono inorgánico a diferentes pH



Nota. Adaptado de Calidad de agua (p.39-50), por P. Feest et al., 2020, https://www.researchgate.net/profile/FelipeBriceno/publication/339130123_Calidad_de_agua/links/5ee01c9b45851516e665862d/Calidad-de-agua.pdf

Se debe tomar en cuenta que el incremento de la concentración de CO_2 en el medio acuático es producido por los organismos que habitan en él y no solo por el agua de entrada. Sin embargo, las altas o bajas concentraciones de este gas pueden ser controladas mediante oxigenación y aireación. De modo que se debe realizar un monitoreo constante de estos parámetros antes de implementar un sistema acuícola (Åtland et al., 2020).

Sulfuros. El sulfuro es un gas que se encuentra en aguas termales y residuales, como también en la capa de agua del fondo, donde se producen reacciones bioquímicas llevadas a cabo por microorganismos que descomponen la materia orgánica, la fermentación anaeróbica generada produce sulfuro de hidrogeno (H_2S) (Sano, 2000). El sulfuro de hidrogeno (H_2S) es un gas que en cantidades elevadas puede ser tóxico para los peces, debido a que inhibe el metabolismo energético de las células y aquellos animales expuestos a concentraciones letales aumentan la tasa de ventilación hasta que se detiene, conllevando a la muerte de los mismos (Boyd, 2017). En consecuencia, es importante administrar suficiente oxígeno para inhibir la aparición de bacterias anaeróbicas encargadas de la producción de iones de sulfuro en el agua, como también evitar la contaminación del agua por sustancias orgánicas (Sano, 2000).

Fosfatos. El fósforo (P) es un mineral muy importante en los ambientes acuáticos, debido a que en bajas concentraciones induce la producción de energía, de manera contraria las concentraciones elevadas desencadenan en una sobre producción de organismos, tales como, algas y microfitos que afectan considerablemente la calidad del agua para el cultivo de especies acuáticas (Baldwin, 2013). La sobre producción de estos organismos son la principal causa de eutrofización, proceso que ocasiona efectos negativos en la calidad del agua, entre ellos, el incremento del pH, disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua y el aumento de las tasas de mortalidad en los organismos acuáticos (Smith et al., 1999).

Cloruros. Según Svecevičius et al. (2005), el dióxido de cloro (ClO_2) y su producto el clorito son comúnmente utilizados para tratamientos de agua y estos dos compuestos pueden tener posibles efectos adversos en los organismos acuáticos. Por tal razón, expusieron a larvas y adultos de la trucha arcoíris a dosis agudas y crónicas de estos dos compuestos, donde determinaron que el clorito es menos tóxico que el dióxido de cloro. Sin embargo, los dos causaron una disminución en las tasas de crecimiento y en las frecuencias cardiorrespiratorias especialmente en larvas, como también se tuvo una disminución en la reabsorción del saco vitelino en aquellos animales que fueron expuestos solo con dióxido de cloro. En conclusión, el valor máximo aceptable donde la tasa de crecimiento no se vio afectada fue de 0,21 mg/l para el dióxido de cloro y 3,3 mg/l para el clorito.

Dureza. La dureza total se define como la concentración de cationes divalentes en el agua en forma de carbonato de calcio (CaCO_3), dentro de los cuales se destacan el Ca^{2+} y magnesio (Mg^{2+}) al ser los más abundantes en el agua, sin embargo, existen otros metales divalentes en el agua en menor concentración como el estroncio (Sr^{2+}), en aguas muy ácidas se tiene pequeñas concentraciones de hierro (Fe^{2+}) y manganeso (Mn^{2+}), entre otros elementos como el cobre (Cu^{2+}), plomo (Pb), zinc (Zn) y aluminio (Al^{3+}). En otras palabras, la dureza total

del agua es la contribución combinada de todos los iones presentes en el agua, no obstante, al presentarse un incremento de la temperatura el carbonato de calcio (CaCO_3) tiende a precipitarse, este fenómeno puede ser un problema dado que, obstruye las tuberías del sistema acuícola (Boyd et al., 2016).

La dureza tiene una relación directa con el contenido de metales del agua y el pH. Cuando el Ca^{2+} y el Mg^{2+} incrementan, el sistema amortiguador también aumenta mitigando de esta manera los cambios de pH. Es decir, el agua dura es más estable que el agua blanda (Sladonja, 2011). El calcio y el magnesio son indispensables en algunos procesos biológicos y metabólicos de los peces tales como, la formación de escamas y huesos, a su vez la presencia de Ca^{2+} libre en el medio acuático ayuda a mantener el balance de sodio y potasio en la sangre, en consecuencia, se tendrá un mejor funcionamiento del sistema nervioso y el corazón (Wurts & Durborow, 1992, como se citó en Sladonja, 2011).

El hierro (Fe^{2+}), cobre (Cu^{2+}) y aluminio (Al^{2+}) son otros metales que se encuentran en el agua en bajas concentraciones, sin embargo juegan un rol importante en la salud de los peces (Wedemeyer, 1996). Estos metales en concentraciones elevadas son tóxicas para los peces y pueden afectar gravemente sus funciones vitales, por ejemplo en un estudio realizado por Slaninova et al. (2014) evaluaron la causa de la muerte de varios peces debido a la contaminación de aluminio y hierro con concentraciones de 119 mg / l y 87 mg / l respectivamente, determinando ciertas alteraciones a nivel branquial como, necrosis y deterioro de la función excretora, como también afectaciones a nivel del riñón, hígado y bazo. Asimismo, se puede observar en otro estudio realizado por Canli & Canli (2020), donde evaluaron el efecto de las nanopartículas de aluminio, cobre y titanio sobre enzimas antioxidantes vivas de (*Oreochromis niloticus*) demostrando que, estas nanopartículas se acumulaban en gran cantidad en el hígado causando estrés oxidativo en los organismos.

Turbidez. La turbidez es un parámetro útil de calidad de agua comúnmente usada como una medida de opacidad del agua y puede ser medida en unidades de turbidez de nefelómetro (NTU). La turbidez en el agua de cultivo es producida por diversos factores entre ellos el plancton, sin embargo, la causada por arcilla en suspensión no permite que la luz penetre en el agua del estanque, de esta manera se reduce la producción de fitoplancton, como también el rendimiento de los peces afectando gravemente su sistema branquial por las arcillas en suspensión.

La principales causas de rangos altos de turbidez son el alimento no consumido, heces y la escasez de plancton, que al descomponerse con el tiempo y temperaturas elevadas producirán compuestos tóxicos como amoníaco y nitrito. Por lo tanto, es primordial realizar recambios de agua y evitar el exceso de alimentación (Uzukwu, 2013).

Fuentes de agua empleadas en este estudio

Un factor fundamental en la piscigranja es la selección de agua de buena calidad durante todo el año, por tal razón es primordial realizar una investigación previa sobre los volúmenes o niveles de agua.

Ríos. Los ríos son una parte fundamental para los todos cuerpos de agua naturales, dado que suministran de agua a lagos y lagunas, por lo tanto es una fuente muy caudalosa que sirve como un indicador importante de disponibilidad de recursos hídricos para diferentes usos (Benedini & Tsakiris, 2013). Ahora bien, tanto los ríos y riachuelos son susceptibles a la contaminación, por lo que, es indispensable tomar en consideración los parámetros de calidad de agua (Brusseau et al., 2019).

Agua geotermal. El agua geotermal ha sido usada a los largo del tiempo para fines turísticos y medicinales, debido a la compleja composición que posee. Según Malca (2015) se consideran aguas geotermales aquellas que emergen a la superficie y presentan una

temperatura 5°C más alta que la temperatura ambiental, estas aguas provienen de capas geológicas profundas que contienen una gran concentración de minerales, debido a su riqueza mineral se le atribuyen propiedades terapéuticas, las mismas que pueden ser clasificadas como, sulfuradas, cloruradas, sulfatadas, ferruginosas, bicarbonatadas, carbónicas, radioactivas y oligominerales.

Características físico químicas y microbiológicas. La composición de las aguas geotermales se encuentra determinada por sulfatos, fosfatos, dióxido de carbono y ácido sulfhídrico, sin embargo, es importante tener en cuenta el origen de las mismas, dado que existen 2 tipos; las aguas termales nítricas, que se caracterizan por ser más frescas y alcalinas con presencia de SO₂, Li, B, Sr, Rb, etc., sin embargo, tienen bajas concentraciones de otros minerales como, Ca, Mg, Cl, Zn, Co, etc. Y las aguas termales de dióxido de carbono que contiene altas concentraciones de salinidad como también valores de pH bajos (Shvartsev et al., 2018). A modo de ejemplo, en la Tabla 4 se puede observar los parámetros físico- químicos de dos diferentes fuentes de agua termal de la parroquia Papallacta.

Tabla 4

Parámetros físico-químicos del agua termal de la parroquia Papallacta

Parámetros	Termas Jamanco	Termas Santa Catalina
pH	7,11	7,5
T (°C)	73	45
EC(μS/cm)	3050	136
Ca (mg/l)	181	126
Mg (mg/l)	7	1,2
Na (mg/l)	1244	359
K (mg/l)	66,4	8,1

Nota: Adaptado de: Diagnóstico de la presencia y contaminación por arsénico en el suelo y agua de consumo en la parroquia Papallacta (p.77), por A. Jiménez, 2018, Escuela Politécnica Nacional.

Usos del agua geotermal en la salud humana. El agua geotermal ha captado la atención de muchos investigadores alrededor del mundo debido a la composición y a los beneficios que esta puede aportar en diversos ámbitos, tanto en la salud humana como en la animal, con respecto a la salud humana se han realizado investigaciones para el cuidado de la piel debido a su riqueza mineral, por ejemplo, Hamidizadeh et al. (2017), concluyeron que el uso de las aguas geotermales son beneficiosas para los tratamientos de dermatitis crónica, psoriasis, quemaduras y reacciones alérgicas en la piel, como también existen efectos antibacterianos y fúngicos gracias a las concentraciones de azufre, tratando afectaciones como; Pitiriasis versicolor, Tinea corporis y Tinea capitis.

Uso de agua geotermal en la acuicultura. En la acuicultura, se puede incrementar la tasa de crecimiento de los peces entre un 50 y un 100% al manejar correctamente las temperaturas óptimas por especie, sin embargo, se debe prestar mucha atención a la calidad del agua y a las patologías que puedan presentarse por el uso directo de fuentes geotérmicas. En general existen un total de 22 países que utilizan esta fuente de energía entre los más importantes destacan China, Estados Unidos, Italia, Islandia e Israel, y las especies que han presentado una buena adaptabilidad son la tilapia, el salmón y la trucha (Ragnarsson, 2014).

Los sistemas geotermales son utilizados comúnmente en sistemas de recirculación de acuicultura (RAS) donde el agua geotérmica pasa por un intercambiador de calor para evitar que esta ingrese de manera directa a los estanques, de esta manera se controla estrictamente la temperatura del agua con el fin de obtener tasas de crecimiento óptimas de los peces marinos y de agua dulce (Farghally et al., 2014). Es por esto, que el uso de aguas geotermales en la acuicultura aparece como una alternativa para contrarrestar los efectos adversos del clima en época invernal, como por ejemplo, Ruiz et al. (2006) evaluó el uso de aguas termales en tanques circulares sobre alevines de tilapia, obteniendo un crecimiento mayor a 300 g, rango

aceptable de crecimiento, que no se alcanzaría con temperaturas menores a 10°C; en cuanto a los parámetros de calidad de agua como, la temperatura, oxígeno disuelto y pH no se vieron afectados de los valores óptimos, demostrando que esta especie posee una alta adaptabilidad y que el uso de aguas geotermales no afecto las condiciones óptimas de desarrollo del cultivo de tilapia.

Esto también se puede observar en un estudio de caso realizado por (ŚwiĄtek, 2020) donde indica que el uso de recursos geotérmicos ha resultado favorable en la acuicultura innovadora, como por ejemplo, la construcción de Jurassic Salmon Farm en Janowo, siendo la primera pesquería del mundo que utiliza recursos geotérmicos, en el cual presentan un ciclo de producción de 20-22 meses que va desde la fase de desove de huevos hasta el crecimiento de los alevines, alcanzando un peso comercial de 5-6 Kg. El agua geotérmica utilizada en esta granja resulto ser adecuada para la cría de salmones a comparación de las otras fuentes de agua utilizadas en granjas tradicionales, cabe recalcar que es indispensable utilizar un sistema RAS, dado que este sirve como filtro para este tipo de fuentes mineralizadas. Por lo tanto, Jurassic Salmon farm se basa en energías renovables, bioseguras y con visión ecológica industrial que permiten el buen desarrollo comercial del Salmon del Atlántico.

Otra técnica novedosa respecto del uso de sistemas de acuicultura térmica data de épocas anteriores, en países industrializados como Japón, por ejemplo, Yee (1972), estudió el uso de efluentes térmicos en la acuicultura para aprovechar la energía eléctrica de las plantas nucleares que habrían estado afectando el medio ambiente; de este estudio se concluye que con el uso de estos efluentes, se mantuvieron rangos óptimos de temperatura en ambientes acuáticos, lo que se sustenta también con las conclusiones de Sylvester (1975), quien indica que las altas temperaturas de los efluentes térmicos influyen favorablemente en el metabolismo de los peces, especialmente en las especies de aguas cálidas.

Es importante considerar que el uso de sistemas de energía geotermales ha tenido un incremento del 6,6% en capacidad instalada y un aumento del 3,7 % anual de energía en ámbitos acuícolas, no obstante, esta tecnología requiere de grandes instalaciones y de un personal altamente capacitado que sumado a los factores microbiológicos del agua pueden ser una limitante en los sistemas de acuicultura térmica (Lund & Boyd, 2016).

Alimentación

La alimentación es de los elementos más esenciales para la cría de trucha arcoíris , por lo general una dieta balanceada debe contener una mayor cantidad de proteína de origen animal de 45-50% (Rivas, 2010). Para un sistema intensivo es importante utilizar alimento de buena calidad, en el momento adecuado y con la respectiva ración, por tal razón existen dos principios que se toman en cuenta para la alimentación de trucha arcoíris; el primer principio menciona que es necesario determinar el tamaño del pellet de acuerdo al estadio y el tamaño del pez más pequeño de la población, para de esta manera asegurar que todos los peces de la población ingieran el alimento y presenten un crecimiento uniforme, el segundo principio sugiere que se administre el alimento en el área del espejo de agua del cultivo, de esta manera los animales se alimentan al mismo tiempo y se evita el desperdicio del alimento (González et al., 2014). En la Tabla 5 se expone la calidad del alimento en los diferentes estadios de la trucha.

Tabla 5*Calidad del alimento por estadios*

Estadio	Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)	Ceniza (%)	Humedad (%)
Alevines	55-50	13-15	18.5-14.5	10-9	10-6
Juveniles	48-45	13-15	20	7	10
Engorde	48-45	13-15	23.5	8	7.5
Mayor	42-40	13-15	23.5	8	7.5
deshuesado					
Mayor filete	42-40	13-15	23.5	8	7.5

Nota: Adaptado de: Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el cultivo de trucha arco iris (p.15), por, De La Oliva, 2011, (<https://docplayer.es/6836930-Manual-de-buenas-practicas-de-produccion-acuicola-en-el-cultivo-de-trucha-arco-iris.html>).

Frecuencia de alimentación para alevines

La frecuencia de alimentación es la ración de balanceado fraccionada por el número de veces por día que se alimenta al animal de acuerdo a su estadio, en la etapa de alevinaje se debe suministrar alimento balanceado del tipo pre-inicio e inicio con una frecuencia de 8-10 veces por día, es recomendable alimentar a los animales desde las 8:00 am hasta las 17:00 pm. En la Tabla 6 se muestra la frecuencia de alimentación en base al estadio de trucha arcoíris.

Tabla 6

Frecuencia de alimentación de acuerdo al estadio de la trucha arcoíris

Peso unitario (g)		Frecuencia de alimentación
Desde	Hasta	
Post-larvas	1.00	8-10
1	5.00	4-6
5	25.00	3-4
25	66.60	2-4

Nota: Adaptado de: Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales (p.54), por, S. González et al., 2014, (https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf).

Probióticos en la acuicultura

Definición de probiótico

La definición de probiótico ha sufrido cambios a lo largo del tiempo. De esta manera Schrezenmeir & de Vrese (2001) plantean que los probióticos son microorganismos vivos viables que aplicados en dosis adecuadas, alteran la microflora del huésped proporcionándole efectos beneficiosos en la salud del mismo. Los probióticos se han presentado como una alternativa para disminuir el efecto adverso de los antibióticos llamando la atención del sector acuícola (Ringø et al., 2010). Por lo cual, se han realizado estudios sobre los beneficios y mecanismos de acción de los probióticos en la acuicultura, obteniendo resultados muy prometedores (Ringø et al., 2007).

Situación actual

La intensificación y el incremento acelerado de la acuicultura a nivel nacional y local, ha expuesto a los peces a un nivel de estrés constante, ocasionando la proliferación de enfermedades, y por consiguiente pérdidas importantes en la producción. Dichas enfermedades pueden manifestarse de manera esporádica o asintomática siendo difícil la detección de un cuadro clínico específico resultando en la muerte de los animales (García et al., 2015).

Mecanismos de acción y beneficios

Los probióticos han tenido una gran acogida en el sector acuícola dado a los beneficios que este aporta sobre la microbiota de la especie que lo consume, estos pueden generar cambios de pH en el intestino, aumento de la producción de lactasa e inducción y modulación a la respuesta inmune del animal (Rondon et al., 2015). Además, tienen la capacidad de adherirse a la mucosa intestinal y competir con los patógenos que se encuentren en el mismo (Ringø et al., 2007).

Según Oelschlaeger (2010) los probióticos presentan de manera general 3 modos de acción; (1) Estos tienen la capacidad de modular las defensas del huésped, como también el sistema inmunológico innato y específico, siendo de gran importancia para la prevención y terapia de enfermedades infecciosas, así como la inflamación del tracto digestivo, (2) pueden llegar a presentar un efecto directo sobre microorganismos patógenos, este modo de acción ayuda a prevenir infecciones y a restaurar el equilibrio de la flora intestinal, (3) por último, los probióticos pueden afectar a productos microbianos tales como toxinas, resultando en una inactivación de las mismas, la desintoxicación del huésped y de los componentes de los alimentos en el intestino.

Los probióticos más utilizados en el campo de la acuicultura son de los géneros de *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Alteromonas*, *Arthrobacter*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Paenibacillus*, *Phaeobacter*, *Pseudoalteromonas*, *Pseudomonas* y *Rhodospiridium*, *Roseobacescter* y *Vibrio*, debido a los efectos beneficiosos que estos ofrecen tales como, una mejora en los ritmos de crecimiento, inhibición de la adherencia y colonización de bacterias patógenas en el tracto digestivo, regulación de la microbiota intestinal y aumento de los parámetros hematológicos y de la respuesta inmune (Ringø, 2020).

Tabla 7

Principales cepas usadas en el cultivo de trucha arcoíris

Probiótico
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
<i>Enterobacter cloacae</i>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>
<i>Pseudomonas sp.</i>
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>
<i>Bacillus subtilis</i>
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>
<i>Aeromonas sobria</i>
<i>Pediococcus acidilactici</i>
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>

Nota: Adaptado de: Uso de probióticos en Acuicultura (p.52), por, L. Sorroza et al., 2009, *Revista canaria de las ciencias veterinarias* 6(7).

Producto comercial FreshPlus®

El probiótico Fresh Plus® es una mezcla de bacterias no patógenas (*Bacillus spp.* y *Paracoccus sp.*) a una concentración de 1.50×10^9 UFC/g, usada en acuicultura de agua dulce intensiva y semi-intensiva. Los beneficios del producto son los siguientes:

- Su uso constante incrementa el rendimiento y mejora el factor de conversión alimenticia (FCA).
- Mejora la calidad del agua y estabiliza el crecimiento de algas durante los ciclos de producción.
- Reduce la acumulación de sulfuro de hidrógeno tóxico en condiciones aeróbicas como anaeróbicas.
- Trabaja en niveles bajos de oxígeno disuelto (Novozymes, 2020).

Bacillus spp. fue una de las primeras bacterias mejor caracterizadas, debido a su marcada diferenciación y desarrollo celular. Esta bacteria se encuentra en el suelo y puede dividirse de manera asimétrica, generando una endospora resistente a factores adversos como son; el calor, el ácido y la sal, por ende, puede mantenerse en el medio ambiente por un período de tiempo prolongado, esta endospora aparece en momentos de estrés por falta de alimento, permitiendo al organismo persistir en el medio en condiciones adversas. Esta bacteria posee flagelos que le permiten su movilización y un sistema de competencia para poder tomar ADN del ambiente (NCBI, 2021).

Una de las características más importantes de esta bacteria, es su capacidad de producir enzimas hidrolíticas que permiten una mejor utilización del alimento, tales como, las proteasas, amilasas y glicosidasas, que descomponen moléculas complejas del alimento en moléculas más simples, permitiendo al animal absorber el alimento de manera más rápida y eficiente, además las endosporas producidas por estas bacterias mejoran el sistema inmune confiriéndole al huésped tolerancia ante agentes patógenos (Anon, 1998, como se citó en Milián et al., 2008).

Interés industrial. Varias especies de *Bacillus* son utilizadas con gran frecuencia en diferentes campos industriales, por ejemplo, Feria et al. (2019) mencionan en su estudio que se puede aislar *Bacillus amyloliquefaciens* del intestino de *Arapaima gigas* para inhibir bacterias patógenas en peces, debido a que esta cepa cuenta con genes que producen péptidos antimicrobianos, proteínas de fijación al intestino, proteínas transportadoras de péptidos antimicrobianos y proteínas que estimulan el sistema inmune, como también encontraron proteínas colagenasas que ayudan a mejorar los procesos de digestión y asimilación del alimento, demostrando que esta cepa es altamente benéfica y segura para su uso industrial, especialmente para el uso de probióticos en la acuicultura.

Paracoccus sp. Es una bacteria gram-negativa que posee un alto valor biotecnológico y una gran flexibilidad metabólica, especialmente con los procesos de respiración, estos microorganismos han sido aislados de ambientes contaminados, por lo cual le confiere gran resistencia a factores adversos al hospedador (Decewicz et al., 2019).

Interés industrial. En un estudio realizado por Maj et al. (2020) se introdujo genes de síntesis de carotenoides en cepas de bacterias del género *Paracoccus* (Alphaproteobacteria), con el objetivo de combinar la capacidad de pigmentación de los carotenoides y la adaptación metabólica amplia que presenta este género; de este estudio se concluye que al usar bacterias del género *Paracoccus* se obtienen cepas productoras con alta eficiencia en cuanto a síntesis y perfil de pigmento reduciendo de esta manera los costos de producción de carotenoides que son muy utilizados en muchas industrias alimenticias, farmacéuticas entre otras.

Capítulo III

Materiales y métodos

Ubicación y características del área de estudio

El estudio se realizó dentro de las instalaciones del Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC, ubicado en la parroquia Papallacta, cantón Quijos, provincia del Napo (Figura 7). Geográficamente se localiza a $78^{\circ}08'26''$ O y $0^{\circ}22'37''$ S y a una altitud de 3380 m.n.s.m. La temperatura media ambiental es de $9,4 \pm 4,6^{\circ}\text{C}$ y la precipitación anual de 1615 mm (FONAG, 2021). Ecológicamente se encuentra ubicado en un piso altitudinal herbazal y arbustal montano alto y montano alto superior de páramo, zona de vida bosque húmedo y muy húmedos Montanos, bosque pluvial montano y bosque nublado (Gobierno Parroquial de Papallacta, 2015).

Figura 7

Centro de Investigaciones Acuícolas-CENIAC



Nota. Adaptado de [CENIAC Centro de Investigaciones Acuícolas], de Google, s. f. , <https://goo.gl/maps/Shi5tt6ZW5UbfLXB8>. Todos los derechos reservados 2021 por Google. Adaptado con permiso del autor.

Material experimental

Biológicos

- 540 alevines de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con un peso promedio inicial de $0,22 \pm 0,05$ g.
- Probiótico comercial FreshPlus®

Insumos de campo

- 18 tinas plásticas para alevinaje de $0,24 \text{ m}^3$ de capacidad
- Alimento balanceado
- 2 baldes de 20 litros
- Redes de pesca medianas
- Mangueras
- Llaves universales
- Codos
- Llaves
- Ictiómetro
- Cooler
- Envases esterilizados
- Cámara fotográfica
- Mandil
- Guantes
- Mascarilla
- Marcador indeleble
- Papel toalla
- Fundas Ziploc

Equipos

- Termómetro
- Balanza electrónica
- Microscopio
- Medidor multiparamétrico HANNA
- Fotómetro multiparámetro

Reactivos

- Eugenol
- Agua desionizada
- Gelatina sin sabor
- Reactivos para medir calidad de agua (HI93712-01, HI93731-01, HI93711-01 y HI93721-01)

Insumos de laboratorio

- Cajas Petri
- Tubos de ensayo
- Vaso graduado
- Porta objetos
- Matraz Erlenmeyer

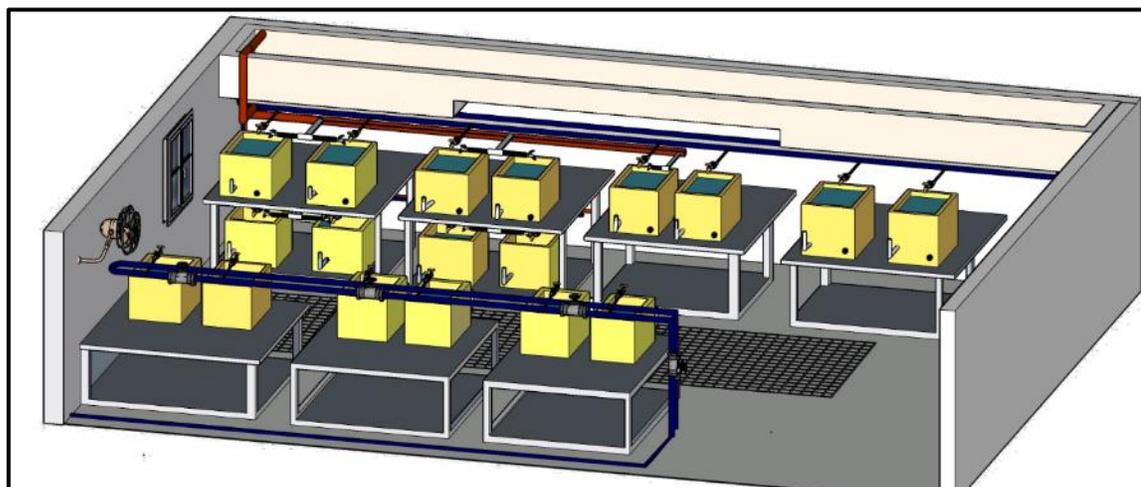
Instalación del ensayo

Se implementó un sistema de tuberías por las cuales circularon agua natural del río Papallacta y agua geotermal. El agua geotermal ingresó directamente en el sistema sin mezclarse con el agua de cultivo en la caja mezcladora, esto con el fin de individualizar las dos fuentes de agua para cada tina de alevinaje. El agua geotermal ingresó a la tina de alevinaje con una temperatura de 45°C donde se mezcló con el agua de cultivo que presentaba una

temperatura promedio de 10°C donde se obtuvo una temperatura del agua óptima para la especie. En la figura 8 se puede observar el sistema de cultivo implementado en el laboratorio.

Figura 8

Instalación del ensayo



LEYENDA DEL SISTEMA

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Ingreso del agua proveniente del río Papallacta	1
	Ingreso del agua geotermal	2
	Llave de agua natural	18
	Llave de agua geotermal	9
	Tinas de alevinaje (0,24 m ³ de capacidad)	18

Nota. La imagen representa el sistema de cultivo de las dos fuentes de agua implementadas en el estudio.

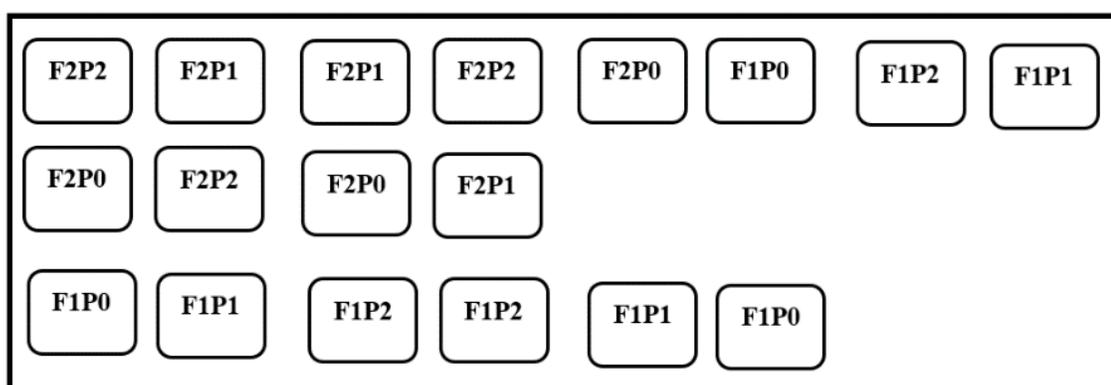
Período de adaptación y siembra de peces

Se transfirieron alevines de trucha arcoíris a un estanque para un período de adaptación de 7 días, donde fueron sometidos a la mezcla de agua natural y agua geotermal previamente elaborada, al finalizar los 7 días de adaptación se tomaron las primeras biometrías de 10 animales con la ayuda de una balanza electrónica de 200g±0,1g y un ictiómetro de madera, donde se obtuvo un peso promedio de 0,34±0,05g , longitud total promedio de 1,97±0,19 cm, longitud parcial promedio de 0,42±0,10 cm y un ancho promedio de 0,38±0,09 cm.

Posteriormente se transfirieron los animales al laboratorio y fueron distribuidos aleatoriamente en 18 unidades experimentales que fueron tinas de alevinaje de 0,24 m³ de capacidad, dentro de las cuales se manejó una densidad de 30 alevines dando un total de 540 animales en la investigación que fueron alimentados con una dieta que incluía 3 dosis de probiótico FreshPlus® en dosis de 0,6 y 12g/Kg para cada unidad experimental durante 3 meses como se detalla en la Figura 9.

Figura 9

Disposición de las unidades experimentales



Nota. En este gráfico se detalla la disposición de las unidades experimentales, donde: F=fuente de agua; P=dosis de probiótico; (F1=fuente de agua natural, F2= fuente de agua temperada; P0= 0 g/Kg, P1= 6g/kg, P2= 12g/kg).

En resumen, los factores fueron evaluados en 6 intervalos de tiempo, durante 3 meses.

Dando un total de 6 tratamientos que son el resultado de la combinación de los tipos de fuentes de agua y las dosis de probiótico (Tabla 8).

Tabla 8*Descripción de los factores y niveles de estudio*

Fuentes de agua	Dosis de probiótico	Nomenclatura	Tratamiento
Agua natural del río Papallacta- F1	0 g/Kg (P0)	F1P0	Tratamiento1
	6 g/Kg (P1)	F1P1	Tratamiento 2
	12g/Kg (P2)	F1P2	Tratamiento 3
Mezcla de agua natural y geotermal- F2	0 g/Kg (P0)	F2P0	Tratamiento 4
	6 g/Kg (P1)	F2P1	Tratamiento 5
	12g/Kg (P2)	F2P2	Tratamiento 6

Nota. F= Fuente de agua; P= Probiótico.

Manejo del cultivo

El cálculo de la alimentación se realizó en base a la Tabla 9 cada 15 días, de acuerdo al peso promedio de los alevines y temperatura del agua de cultivo. (Ortiz, 2015). La alimentación se realizó con una frecuencia de 8 veces al día.

Tabla 9

Norma de alimentación diaria (%) de trucha arcoíris según el peso y la temperatura del agua.

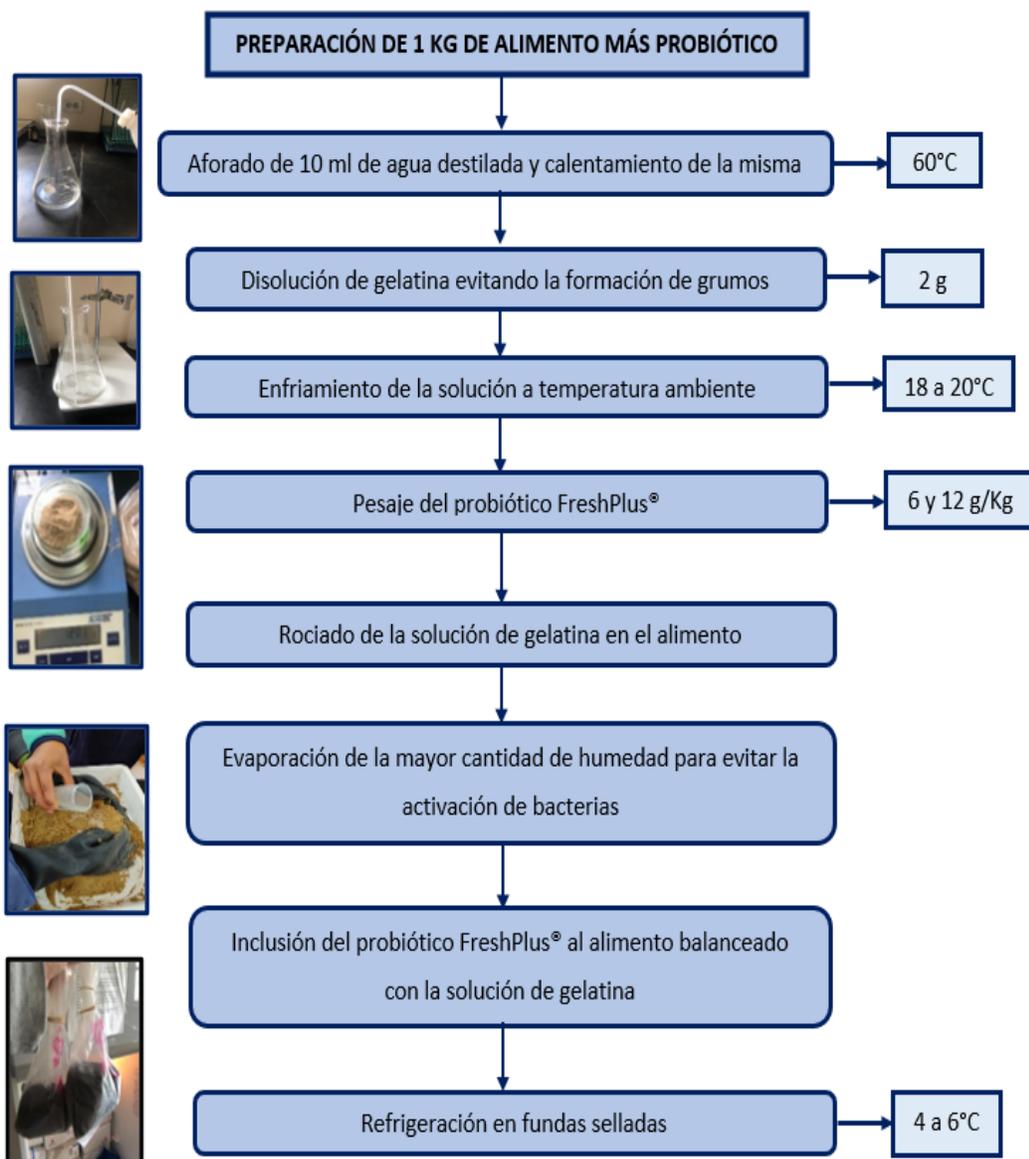
Elaborada por Titarev (1980)

Peso (g)	Temperatura (°C)	
	10	15
0.18-1.5	4.2	6
1.5-5.1	3.3	4.9
5.1-12	2.6	3.8

Para la correcta preparación del alimento junto con las diferentes dosis de probiótico, se siguió el protocolo para un Kilogramo de alimento como se detalla en la Figura 10.

Figura 10

Protocolo de elaboración de 1 Kg de alimento más probiótico



En cuanto a la limpieza de los tanques, estos fueron sifonados diariamente, con el fin de eliminar impurezas en el agua, a su vez se extrajeron los peces muertos para calcular la tasa de supervivencia con la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de supervivencia}(\%) = \frac{\text{Número de alevines vivos}}{\text{Total de alevines por tratamiento}} * 100$$

Adicionalmente, durante el período experimental se tomaron mediciones “in situ” de algunos parámetros fisicoquímicos, los cuales se resumen en la Tabla 10.

Tabla 10

Metodología para la medición “in situ” de parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Equipo	Método	Periodicidad	Horario
Temperatura (°C)	Termómetro	Lectura visual	Diario	7:00 am a 6:00 pm cada hora
Oxígeno (ppm)	Multiparámetro	Lectura digital	Diario	8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm
Oxígeno disuelto (%)	Multiparámetro	Lectura digital	Diario	8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm
pH	Multiparámetro	Lectura digital	Diario	8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm
Conductividad eléctrica (mS/cm)	Multiparámetro	Lectura digital	Diario	8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm
Salinidad (ppt)	Multiparámetro	Lectura digital	Diario	8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm

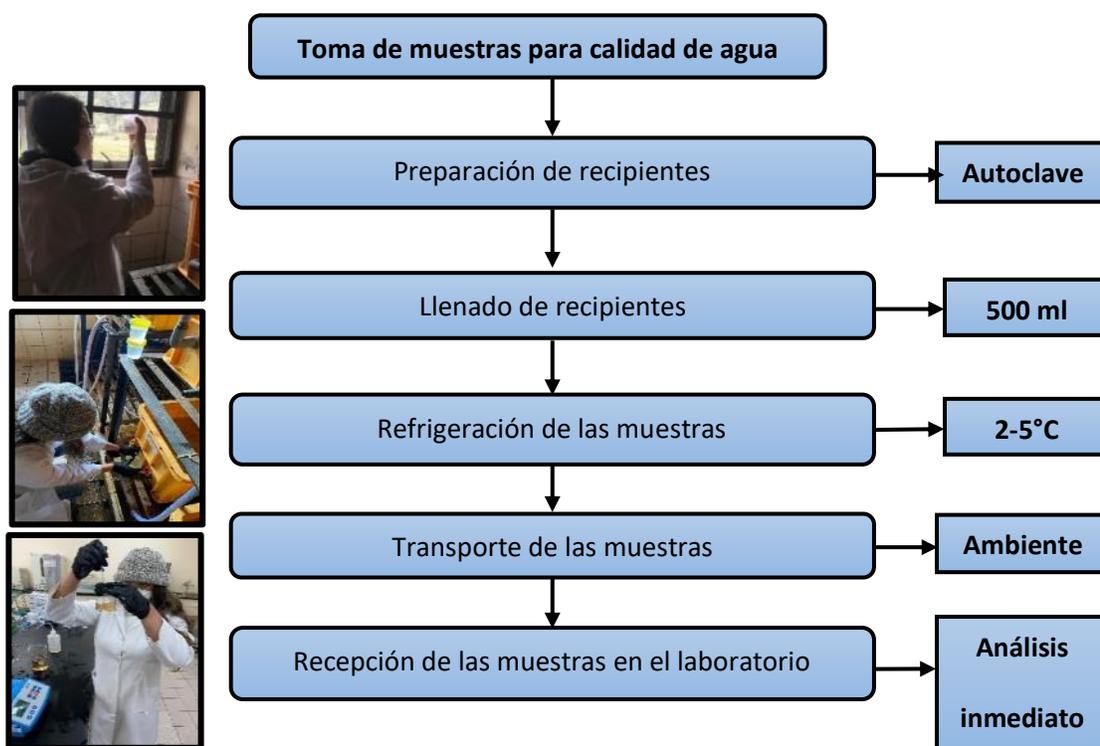
VARIABLES DE ESTUDIO

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las fuentes de agua

Toma de muestras. Para los análisis de calidad de agua, se tomaron muestras al inicio y al final del período de investigación, resultando en 3 análisis correspondientes a las fuentes de agua geotermal, mezcla de agua natural más agua geotermal y agua natural del río Papallacta. Para la recolección de muestras se aplicó la norma NTE-INEN-2169: 2013 (Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras), descritos en la Figura 11.

Figura 11

Esquema para la toma de muestras de agua del estudio



Nota. El esquema representa el procedimiento para la toma de muestras de las fuentes de agua empleadas en el estudio basado en la norma NTE-INEN-2169: 2013.

Análisis de calidad de las fuentes de agua. Los análisis de calidad de agua de las diferentes fuentes de agua se realizaron en tres etapas como se describe en la Tabla 11.

Tabla 11

Etapas efectuadas para el análisis de calidad de agua

Etapas	Elementos	Método de conservación	Método de análisis
Primera etapa	<p>-Fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, nitritos, nitratos, fosfatos, dureza total y amonio.</p> <p>-Microbiológicos: Enterobacterias lactosa (+), <i>Enterobacter sp.</i>, Enterobacterias lactosa (+), <i>Citrobacter sp.</i>, Aerobios totales (<i>Bacillus sp.</i>), hongos y levaduras.</p>	Refrigeración de 2-5°C por menos de 12 horas	
Segunda etapa	-Minerales: Cloro total, hierro, aluminio, zinc, cobre.	Análisis inmediato	Protocolo establecido por el proveedor de los Kits (HANNA)
Tercera etapa	-Otro mineral: Sulfuro	Refrigeración de 2-5°C por menos de 3 horas	Método de análisis de referencia SM Ed.23, 2017 4500-S2-A y D/UV-VIS

Parámetros morfométricos

Se seleccionaron 10 alevines por unidad experimental, estos animales fueron capturados de cada tina a través de una red cada 15 días durante 3 meses, seguidamente fueron anestesiados por inmersión temporal en una solución de eugenol en dosis de 0,5ml/10 litros de agua, con el fin de medir las variables morfométricas como masa corporal (peso en gramos) con la ayuda de una balanza electrónica de 200g \pm 0,1g y la talla (cm) mediante un ictiómetro de madera.

Parámetros productivos

Ganancia de peso diario. Una vez obtenido los registros de peso de los 10 animales seleccionados, se aplicó la siguiente fórmula expresada en g/día:

$$GP = \frac{PF - PI}{T}$$

Donde:

PF= Peso final.

PI = Peso Inicial

T= Tiempo

Coefficiente térmico de crecimiento (TGC). Para la determinación del TGC se utilizó el registro de temperaturas diarias medidas a lo largo del estudio y se aplicó la siguiente fórmula:

$$TGC = \frac{(BW_2^{\frac{1}{3}} - BW_1^{\frac{1}{3}})}{\sum \text{Temp}(^{\circ}\text{C}) * \text{días}} * 1000$$

Donde:

BW₂= Peso final.

BW₁ = Peso inicial

(Cho, 1992).

Índice de condición corporal (ICC). Para conocer el estado nutricional y morfológico de los peces, se utilizó la siguiente relación volumétrica:

$$\text{ICC} = \frac{\text{PT(g)}}{\text{LT}^3(\text{cm})} * 100$$

Donde:

PT= Peso total del animal.

LT³ = Longitud total del animal al cubo.

(Murillo et al., 2016).

Tasa de crecimiento específico (TCE). Se determinó el crecimiento de los peces en función de la diferencia de pesos entre la toma de datos de la masa corporal:

$$\text{TCE}(\%) = \frac{(\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial}))}{tF - ti(\text{días})} * 100$$

(Arce & Figueroa, 2003).

Factor de conversión alimenticia (FCA). Este valor mostró el consumo de alimento balanceado que fue necesario para la ganancia de 1 g de peso

$$\text{FCA} = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado (g) en un período t}}{\text{Ganancia de peso o incremento de biomasa (g) en el período t}}$$

Eficiencia de conversión alimenticia ECA. Esta variable se calculó con el inverso del factor de conversión alimenticia:

$$\text{ECA} = \frac{1}{\text{FCA}} * 100$$

(Trelles et al., 2019).

Se realizaron regresiones múltiples para determinar la relación entre cada una de las variables mediante el software estadístico R estudio.

Análisis estadístico

El experimento se dispuso mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x2 y tres repeticiones. El modelo matemático que se siguió fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + P_j + (FP)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Crecimiento de *Oncorhynchus mykiss*

μ = Media general

F_i = Efecto del i-ésimo tipo de fuente de agua.

P_j = Efecto de la j-ésima dosis de probiótico.

$(FP)_{ij}$ = Efecto de la interacción tipo de fuente de agua * dosis de probiótico.

ε_{ijk} = Error experimental.

Las variables de estudio inicialmente se caracterizaron mediante estadística descriptiva (media y desviación estándar), así como la valoración de normalidad y homocedasticidad. Para evaluar el efecto de las fuentes de agua y las dietas con diferentes dosis de probiótico sobre las variables de respuesta se realizaron análisis de varianza (ANOVA). Posteriormente se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey para las fuentes de agua, las dietas y las interacciones. Todos los análisis fueron realizados en el software estadístico R con un nivel de significancia del 5%.

Capítulo IV

Resultados y discusión

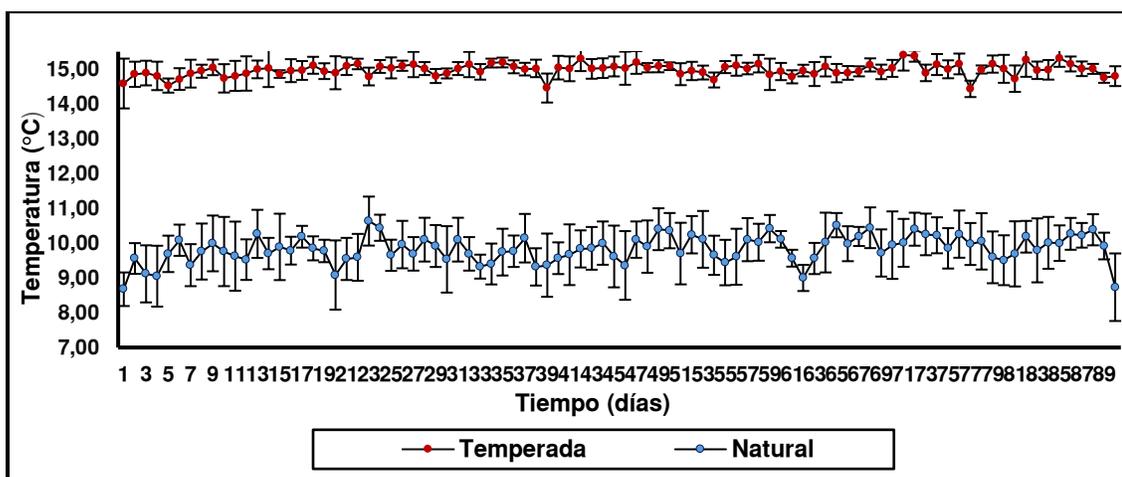
Resultados

Parámetros Físicoquímicos medidos "in situ"

Temperatura. Durante los 90 días del período experimental, se obtuvo una temperatura promedio para la fuente de agua temperada de $14,97^{\circ}\text{C}\pm 0,18$, mientras que para la fuente de agua natural se obtuvo una temperatura promedio de $9,83^{\circ}\text{C}\pm 0,39$. La fuente de agua temperada presentó una mayor temperatura promedio con respecto a la fuente de agua natural (Figura 12).

Figura 12

Temperatura de las dos Fuentes de Agua



Nota. La figura representa la variación de temperatura de la fuente de agua temperada y natural durante el período de 90 días (Media \pm desviación estándar) para cada tratamiento.

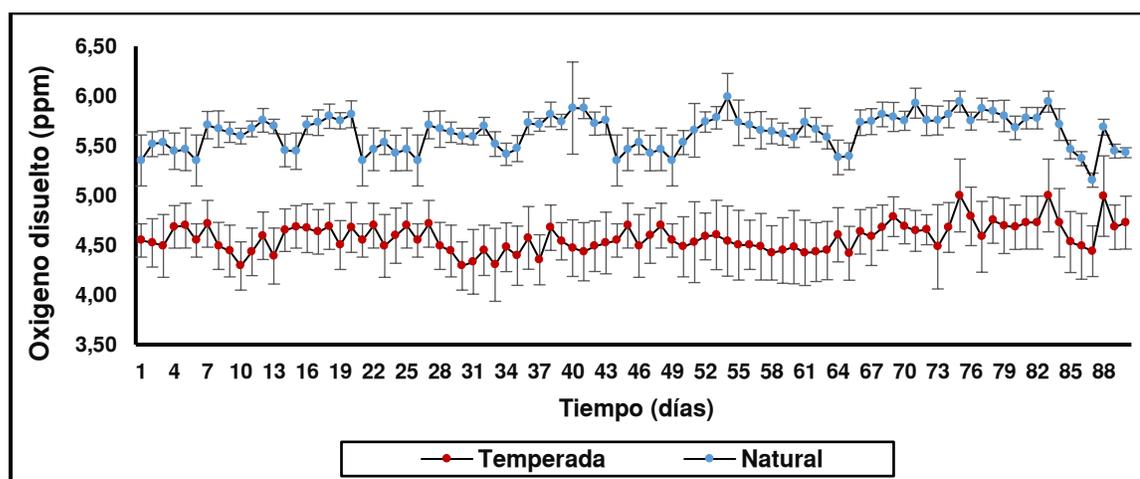
La temperatura obtenida en la fuente de agua natural no se encontró dentro de los rangos óptimos de la especie que va de 10 a 15°C para trucha arcoíris (Arregui, 2013). A diferencia de la fuente de agua temperada, resultando favorable para la producción de estos peces, dado que, como lo expone, Réalis et al. (2016), la temperatura es un factor abiótico que

juega un rol indispensable en el ciclo de vida de los peces poiquiloterms especialmente sobre el crecimiento. Como también, Kuska et al. (2020), mencionan alteraciones en la temperatura, ya sea rangos bajos o altos sobre los óptimos, podrían desencadenar crecimientos lentos, pérdida de peso e incremento de las tasas de mortalidad. Como se puede ver, un incremento en la temperatura contribuye al crecimiento en esta especie. Sin embargo, bajas temperaturas podrían afectar la producción y generar pérdidas económicas significativas en las pisciculturas.

Oxígeno disuelto (ppm). Durante los 90 días del período experimental, el promedio del oxígeno disuelto para la fuente de agua temperada fue de $4,57 \text{ ppm} \pm 0,14$, mientras que para la fuente de agua natural fue de $5,63 \text{ ppm} \pm 0,17$. La fuente de agua natural presentó un mayor contenido de oxígeno disuelto promedio con respecto a la fuente de agua temperada (Figura 13).

Figura 13

Oxigeno de las dos Fuentes de Agua



Nota. Esta figura representa la variación del oxígeno disuelto en ppm de la fuente de agua temperada y natural durante el período de 90 días (Media \pm desviación estándar) para cada tratamiento.

El oxígeno disuelto en la fuente de agua temperada no se encontró dentro de las condiciones favorables para el desarrollo del cultivo, debido a que el rango óptimo para la etapa de alevinaje es de 6 a 7 mg/l, aun así, la especie presenta tolerancia a cambios de oxígeno entre 4 a 8 mg/l (Hepher et al., 1993). En este estudio podemos observar que a pesar de que hubo una disminución en oxígeno, esta se encontraba dentro de los rangos de tolerancia para la especie. Por lo tanto, el uso de la fuente de agua temperada no afectó la respuesta hipóxica de los alevines de trucha arcoíris.

La disminución del oxígeno disuelto en la fuente de agua temperada puede explicarse de acuerdo a lo expuesto por De La Oliva (2011), quien indica que la concentración de oxígeno disuelto tiene una relación inversamente proporcional con la temperatura, lo que podría influenciar negativamente el metabolismo de peces salmónidos especialmente a bajas temperaturas; Ejemplos de la relación descrita, pueden ser profundizadas en los estudios de Jonsson & Jonsson (2011), quienes afirman que las aguas cálidas tienen una menor concentración de oxígeno disuelto y que animales expuestos a temperaturas superiores al límite óptimo podrían presentar efectos adversos como hipoxia sistémica, baja capacidad cardiocirculatoria y depresión metabólica.

Otro ejemplo de la relación temperatura-oxígeno es descrito por Brijs et al. (2018), quienes observaron que el incremento de temperatura del agua de cultivo a 15°C aumentó de manera significativa la demanda de oxígeno en 1,7 veces más. Otro efecto negativo y de interés productivo es mencionado por Herrmann et al. (1962) como se citó en Tran-Duy et al. (2008), donde el crecimiento del salmón coho se vio afectado significativamente cuando la concentración de oxígeno se encontraba por debajo de los 4 mg/L.

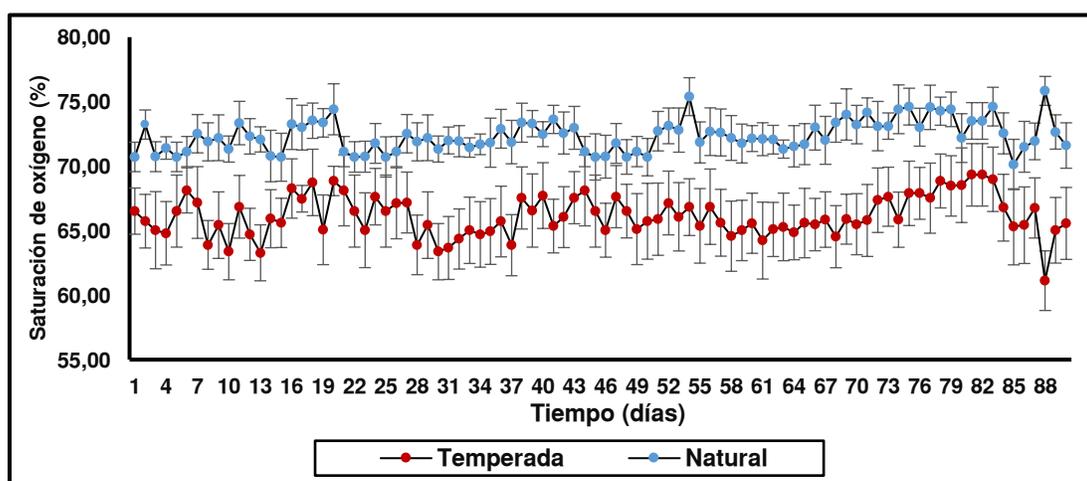
Por otra parte, Vásquez et al. (2016) menciona que el oxígeno disponible en el ambiente se encuentra limitado por la altitud y este a su vez por la presión atmosférica, así, cuanto más

alta sea la altitud menor será la presión atmosférica, por lo tanto, el agua tendrá una menor capacidad para disolver el oxígeno. En Papallacta se cuenta con una altitud de 3380 mm que, junto con el uso de aguas subterráneas, como lo son las aguas geotermales, la concentración de oxígeno disuelto en el agua disminuirá considerablemente. Como se puede observar los cambios negativos de oxígeno disuelto en salmónidos afecta gravemente el bienestar de los animales ocasionándoles hipoxia o incluso la muerte. Sin embargo, en este estudio la concentración de oxígeno disuelto no fue menor a 4 mg/L, por lo cual no afectó gravemente el bienestar de los animales.

Saturación de oxígeno disuelto (%). Durante los 90 días del período experimental, el promedio de saturación de oxígeno disuelto para la fuente de agua temperada fue de $66,12\% \pm 1,57$, mientras que para la fuente de agua natural fue de $72,36\% \pm 1,21$. La fuente de agua natural presentó un mayor porcentaje de saturación de oxígeno disuelto promedio con respecto a la fuente de agua temperada (Figura 14).

Figura 14

Saturación de Oxígeno de las dos Fuentes de Agua



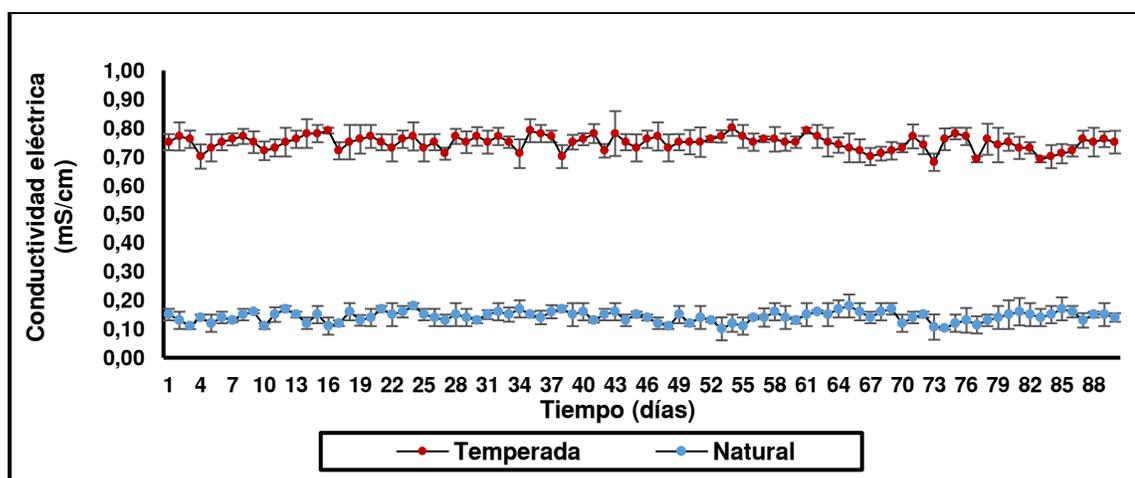
Nota. Esta figura representa la variación de la saturación de oxígeno (%) de la fuente de agua temperada y natural durante el período de 90 días (Media \pm desviación estándar) para cada tratamiento.

De acuerdo a Masser et al. (1999), la saturación de oxígeno se debe mantener a niveles de saturación superiores al 60% especialmente en sistemas de recirculación. Glencross (2009), reporta que cuando se somete a animales de trucha arcoíris a niveles bajos de saturación de oxígeno (42-78%) la ingesta de alimento disminuye. Sin embargo, la eficiencia de utilización de proteínas o energía no se ve afectada. Por lo tanto, los niveles de saturación de oxígeno de las dos fuentes de agua obtenidos en este estudio fueron aceptables y no comprometieron la salud de los animales.

Conductividad eléctrica (C.E). Durante los 90 días del período experimental, el promedio de la conductividad eléctrica para la fuente de agua temperada fue de 0,748 mS/cm \pm 0,03, mientras que para la fuente de agua natural fue de 0,142 mS/cm \pm 0,02. La fuente de agua temperada presentó mayor conductividad eléctrica promedio con respecto a la fuente de agua natural (Figura 15).

Figura 15

Conductividad Eléctrica de las dos Fuentes de Agua



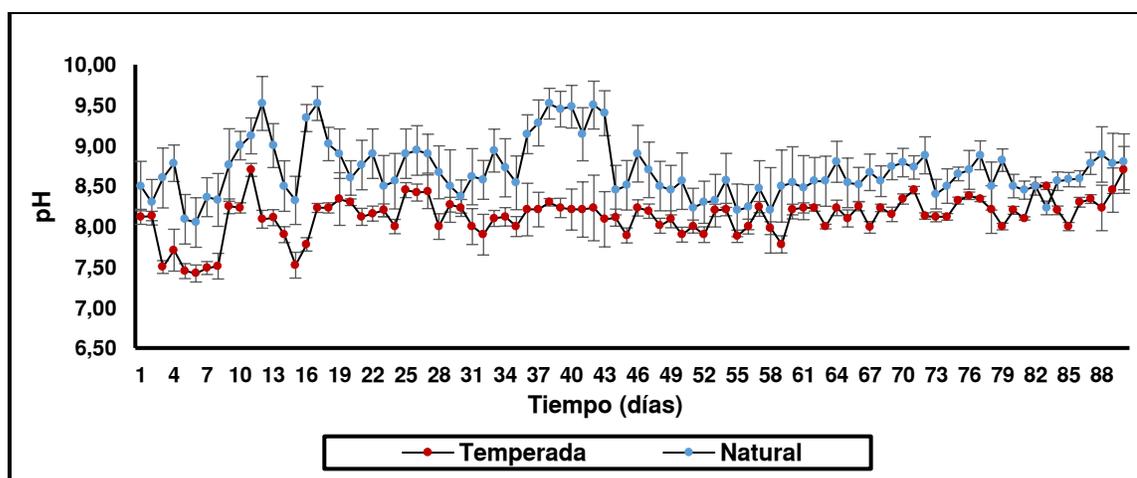
Nota. Esta figura representa la variación de la conductividad eléctrica en mS/cm de la fuente de agua temperada y natural durante el período de 90 días (Media \pm desviación estándar) para cada tratamiento.

La conductividad eléctrica de la fuente de agua temperada se mantuvo dentro los rangos permisibles para trucha arcoíris; ya que de acuerdo a Vásquez et al. (2016), los rangos óptimos para el cultivo de trucha arcoíris se encuentran entre 0,543 a 0,853 mS/cm. Además, Boyd (2019), menciona en su estudio que la conductividad eléctrica aumentará en función al incremento de temperatura y salinidad en el agua de cultivo, esta relación hace que la conductividad eléctrica sea un buen indicativo de la calidad de agua de cultivo. Por lo tanto, este parámetro no influye directamente en la salud de los animales, pero si en la estabilidad del agua de cultivo que es el principal elemento para el crecimiento y desarrollo de especies acuáticas.

pH. Durante los 90 días del período experimental, el promedio del pH para la fuente de agua temperada fue de $8,13 \pm 0,25$, mientras que para la fuente de agua natural fue de $8,69 \pm 0,34$. La fuente de agua natural presentó mayor pH promedio con respecto a la fuente de agua temperada (Figura 16).

Figura 16

pH de las dos Fuentes de Agua



Nota. Esta figura representa la variación del pH de la fuente de agua temperada y natural durante el período de 90 días (Media \pm Desviación estándar) para cada tratamiento.

El pH promedio durante el período experimental fue mayor en la fuente de agua natural (8,69) que en la fuente de agua temperada (8,13), esto se debe a que la temperatura de la fuente de agua temperada aumentó en 5,14°C más que la temperatura del agua natural. Esta relación se observa en el estudio de Labrador et al. (2020), quienes mencionan que a una mayor temperatura se tendrá un menor pH. Sin embargo, el pH de las dos fuentes de agua empleadas en este estudio se encuentran dentro del rango óptimo que oscila entre 6,5-9 (Parrado, 2016).

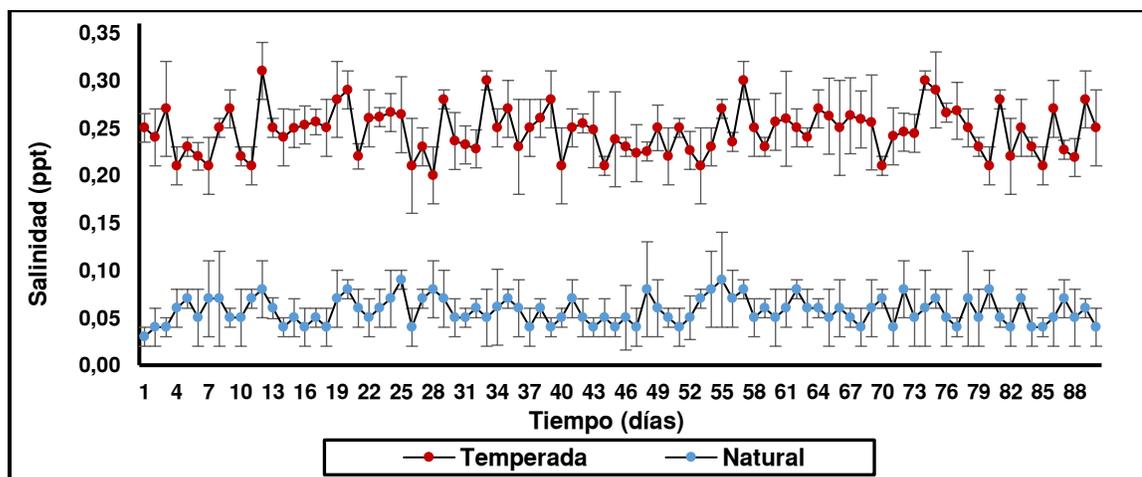
Jacobsen (1977) , llegó a la conclusión de que una reducción módica del pH no presenta un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento de la trucha marrón, por otro lado, los resultados obtenidos por Dockray et al. (1996), demuestran que exponer truchas arcoíris en etapa juvenil a rangos subletales de acidez y a temperaturas de 13-24°C conduce a una mayor ingesta de alimentos y tasas de crecimiento. Por consiguiente, la trucha presenta una alta resistencia a cambios drásticos de pH.

Cabe recalcar que los carbonatos convertidos en bicarbonatos por organismos acuáticos pueden aumentar el pH por encima de 9 durante los períodos de fotosíntesis y en aguas con baja alcalinidad (20-50 mg/L) (Wurts & Durborow, 1992). Por lo tanto, los valores de pH encontrados en este estudio demuestran que existe un equilibrio iónico en las dos fuentes de agua de cultivo y por ende este no afectó en el crecimiento de los alevines de trucha arcoíris.

Salinidad. Durante los 90 días del período experimental, el promedio de la salinidad para la fuente de agua temperada fue de 0,25ppt±0,02, mientras que para la fuente de agua natural fue de 0,04ppt±0,01. La fuente de agua temperada presentó mayor salinidad promedio con respecto a la fuente de agua natural (Figura 17).

Figura 17

Salinidad de las dos fuentes de agua



Nota. Esta figura representa la variación de la salinidad en ppt de la fuente de agua temperada y natural durante el período de 90 días (Media \pm Desviación estándar) para cada tratamiento.

La salinidad durante el período experimental en la fuente de agua temperada y la fuente de agua natural se mantuvieron dentro del rango óptimo de la trucha arcoíris que de acuerdo a De La Oliva (2011) se encuentra entre 0-35 ppt, considerando a esta especie un organismo diádromo eurihalino.

Efectos producidos por cambios en la salinidad pueden analizarse en los estudios de Hepher et al. (1993), quienes mencionan que el cambio de salinidad dentro del rango de tolerancia puede afectar el crecimiento de los peces, como también el exponer a los animales a rangos de salinidad fuera de los límites permisibles. Sin embargo, McKay & Gjerde (1985), argumentan que salinidades superiores a 20 ppt influyen de manera perjudicial en el crecimiento de trucha arcoíris. A lo largo del período experimental, se pudo observar que la salinidad no presentó cambios bruscos y se mantuvo dentro del rango permisible, lo cual no afectó negativamente al crecimiento de los animales.

Parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua

En la Tabla 12 y Tabla 13 se observa los resultados de los parámetros fisicoquímicos, los cuales fueron realizados al inicio y al final de la investigación. Estos resultados fueron comparados en base a la normativa legal vigente (TULSMA LIBRO VI, ANEXO I), que se detallan en el Acuerdo Ministerial 097A (Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua). En el Ecuador no existe una norma que establezca los límites permisibles de fosfatos y dureza total, de tal manera se utilizó el acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 para trucha arcoíris (UNINET, 1989).

Tabla 12

Análisis fisicoquímico inicial de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo permisible	Normativa legal aplicada
pH	-	8,37	8,06	8,21	6,5-9	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Conductividad eléctrica	μS/cm	154	1551	741	543 - 853	-
Sólidos disueltos	mg/l	110	642	520	400	Acuerdo CE-CCA-001/89 Tabla 2
Nitritos (NO₂)	mg/l	0,009	0,013	0,008	0,2	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Nitratos (NO₃)	mg/l	0,06	0,08	0,04	13	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Fosfatos (PO₄)	mg/l	0,48	0,54	0,40	0,05	Acuerdo CE-CCA-001/89
Dureza total (CaCO₃)	mg/l	8	21	8	5,0-200	Acuerdo CE-CCA-001/89 TABLA 2
Amonio (NH₃)	mg/l	0,026	0,039	0,030	0,02	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo	Normativa legal
					permisible	aplicada
Sulfuro	mg/l	<0,30	<0,30	<0,30	0,0002	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Cloro total	mg/l	0,09	0,12	0,06	0,01	TULSMA, Anexo 1, Tabla 10.
Hierro (Fe)	mg/l	0,28	0,05	0,15	0,3	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Aluminio (Al)	mg/l	0,03	0,00	0,01	0,1	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Zinc (Zn)	mg/l	0,01	0,01	0,06	0,18	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Cobre	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,02	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3

Nota. Esta tabla muestra la diferencia de parámetros fisicoquímicos iniciales de tres fuentes de agua (M1: Agua natural del río Papallacta; M2: Agua geotermal; M3: Agua temperada) empleadas en el estudio.

Tabla 13

Análisis fisicoquímico final de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo	Normativa legal
					permisible	aplicada
pH	-	8,57	8,03	8,41	6,5-9	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Conductividad eléctrica	µS/cm	145	1549	733	543 - 853	-
Sólidos disueltos	mg/l	100	652	504	400	Acuerdo CE-CCA-001/89 Tabla 2
Nitritos (NO ₂)	mg/l	0,007	0,0125	0,006	0,2	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo permisible	Normativa legal aplicada
Nitratos (NO₃)	mg/l	0,06	0,07	0,05	13	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Fosfatos (PO₄)	mg/l	0,50	0,56	0,41	0,05	Acuerdo CE-CCA-001/89
Dureza total (CaCO₃)	mg/l	9	22	9	5.0-200	Acuerdo CE-CCA-001/89 Tabla 2
Amonio (NH₃)	mg/l	0,028	0,040	0,034	0,02	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Sulfuro (S⁻²)	mg/l	<0,30	<0,30	<0,30	0,5	TULSMA, Anexo 1, tabla 2
Cloro total	mg/l	0,06	0,08	0,04	0,01	TULSMA, Anexo 1, Tabla 10.
Hierro (Fe)	mg/l	0,39	0,01	0,17	0,3	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Aluminio (Al)	mg/l	0,00	0,04	0,02	0,1	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Zinc (Zn)	mg/l	0,03	0,00	0,00	0,18	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3
Cobre	mg/l	0	0,02	0,01	0,02	TULSMA, Anexo 1, Tabla 3

Nota. Esta tabla muestra la diferencia de parámetros fisicoquímicos finales de las tres fuentes de agua (M1: Agua natural del río Papallacta; M2: Agua geotermal; M3: Agua temperada) empleadas en el estudio.

De acuerdo a la normativa legal establecida, la mayoría de los parámetros fisicoquímicos de las 3 diferentes fuentes de agua inicial y final se encuentran dentro del rango máximo permisible. Sin embargo, la conductividad eléctrica sobrepasa significativamente el rango máximo permisible (543 - 853 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en la fuente de agua geotermal (Inicial: 1551 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Final: 1549 $\mu\text{S}/\text{cm}$), este incremento se debe a que el agua geotermal se encuentra a una

mayor temperatura y salinidad con respecto a las dos fuentes utilizadas en el estudio. Por lo tanto, este resultado indica que el agua geotermal por sí sola no cumple con los requerimientos ambientales para el cultivo de trucha arcoíris.

De acuerdo con el Acuerdo Ministerial 097A (Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua), los sólidos disueltos sobrepasan el límite máximo permisible (400 mg/l) en la fuente de agua geotermal (Inicial: 642 mg/l; Final: 652 mg/l) y temperada (Inicial: 520 mg/l; Final: 504 mg/l). Esto puede deberse a que la fuente de agua geotermal y temperada poseen una mayor conductividad eléctrica y según Miraj et al. (2017), existe una estrecha relación con la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos, tanto así que el valor total de sólidos disueltos en ppm es aproximadamente la mitad de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Los efectos de sólidos suspendidos sobre los salmónidos se puede explicar en el estudio de Redding et al. (1987), quienes expusieron al salmón coho y trucha arcoíris a altas (2000-3000 mg/l) y bajas (400-600 mg/l) concentraciones de sólidos disueltos, ninguna exposición causó mortalidad en las dos especies, sin embargo, los animales sufrieron estrés y bajas tasas de alimentación en altas concentraciones. Por consiguiente, a pesar de que las concentraciones de sólidos suspendidos superan el límite permisible en la fuente de agua temperada, su uso no afectó la salud ni el crecimiento de la trucha arcoíris.

Según UNINET (1989), el ion fosfato (PO_4) sobrepasa el límite máximo permisible (0,05 mg/l) en las fuentes de agua natural (Inicial:0,48 mg/l; Final:0,50 mg/l), geotermal (Inicial: 0,54 mg/l; Final: 0,56 mg/l) y temperada (Inicial:0,40 mg/l; Final:0,41 mg/l). Este incremento puede deberse a la acumulación de sedimentos, como también a la disminución de oxígeno disuelto en el agua. Esto se puede observar en un estudio realizado por Janampa et al. (2011), en el cual caracterizaron lesiones anatómicas y calidad de agua de cultivo de trucha arcoíris, donde la concentración de fosfatos aumentó conforme disminuyó el oxígeno disuelto en concentraciones

promedio de 4 mg/l siendo un rango inferior al aceptable para trucha arcoíris. Por ende, en este estudio se puede observar que el aumento de fosfatos en las diferentes fuentes de agua pueden afectar la calidad del agua y comprometer la salud de los animales.

Según al Acuerdo Ministerial 097A (Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua), el amonio (NH_3) no se encontró en el rango máximo permisible (0,02 mg/l) en las fuentes de agua natural (Inicial: 0,026 mg/l; Final: 0,028 mg/l), geotermal (Inicial: 0,039 mg/l; Final: 0,040 mg/l) y temperada (Inicial: 0,030 mg/l; Final: 0,034 mg/l), esto se debe principalmente a la presencia de heces y los desechos del alimento proporcionado que no fue aprovechado completamente por los animales. Además, hubo una mayor concentración de amonio en la fuente de agua geotermal a diferencia de las otras fuentes de agua. Algo similar se puede observar en un estudio realizado por Ruiz et al. (2006), en el cual se evaluó un cultivo semi-intensivo de tilapia en tanques circulares con aguas termales, donde la concentración de amonio (NH_3) máximo en el transcurso de la investigación fue de 0,28 mg/l a una temperatura de 22,68°C, siendo favorable para esta especie. En este estudio se puede observar que el incremento de amonio tóxico en la fuente de agua temperada y natural no afectó el crecimiento de trucha arcoíris.

Según al Acuerdo Ministerial 097A (Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua), el cloro total no se encontró dentro del rango máximo permisible (0,01 mg/l) en las fuentes de agua natural (Inicial: 0,09 mg/l; Final: 0,06 mg/l), geotermal (Inicial: 0,12 mg/l; Final: 0,08 mg/l) y temperada (Inicial: 0,06 mg/l; Final: 0,04 mg/l). Los resultados de cloro total denotan que, la concentración más alta de este elemento se encuentra en la fuente de agua geotermal y la menor en el agua temperada. A pesar de que el cloro total no se encuentra dentro del rango permisible para la especie, su incremento no afectó el bienestar y crecimiento de los animales.

Parámetros microbiológicos de las fuentes de agua

En la Tabla 14 y Tabla 15 se observa los resultados de los parámetros microbiológicos, los cuales fueron realizados al inicio y al final de la investigación. Estos resultados fueron comparados con los límites máximos permitidos de la Norma INEN 1108:2014 Agua Potable. Requisitos.

Tabla 14

Análisis microbiológico inicial de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo permisible
Enterobacterias lactosa (+) <i>Enterobacter sp.</i>	UFC/100 ml	0	0	0	<1000
Enterobacterias lactosa (+) <i>Citrobacter sp.</i>	UFC/100 ml	8	0	3	<1000
Aerobios totales (<i>Bacillus sp.</i>)	UFC/100 ml	<25	2	0	-
Hongos	UFC/100 ml	0	0	0	-
Levaduras	UFC/100 ml	0	0	0	-

Nota. Esta tabla muestra la diferencia de parámetros microbiológicos iniciales de las tres fuentes de agua (M1: Agua natural del río Papallacta; M2: Agua geotermal; M3: Agua temperada) empleadas en el estudio.

*UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

Tabla 15

Análisis microbiológico final de las 3 fuentes de agua empleadas en el estudio

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo permisible
Enterobacterias lactosa (+) <i>Enterobacter sp.</i>	UFC/100 ml	0	0	0	<1000

Parámetros	Unidad	M1	M2	M3	Límite máximo permisible
Enterobacterias lactosa (+) <i>Citrobacter sp.</i>	UFC/100 ml	9	0	4	<1000
Aerobios totales (<i>Bacillus sp.</i>)	UFC/100 ml	<25	4	0	-
Hongos	UFC/100 ml	0	0	0	-
Levaduras	UFC/100 ml	0	0	0	-

Nota. Esta tabla muestra la diferencia de parámetros microbiológicos finales de las tres fuentes de agua (M1: Agua natural del río Papallacta; M2: Agua geotermal; M3: Agua temperada) empleadas en el estudio.

*UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

Entre las bacterias identificadas en las tres fuentes de agua inicial y final se encuentran *Bacillus subtilis* y *Citrobacter spp.* Sin embargo, no presentaron rangos superiores a los permisibles e incluso hubo ausencia en la mayoría de los parámetros. De igual manera, Ortíz (2019), determinó la biodiversidad microbiana en el agua termal del balneario Terjamanco 1 Papallacta, donde se aislaron 19 cepas bacterianas entre ellas *Bacillus subtilis*. En otro estudio realizado por Arias (2016), se aislaron 9 bacterias termófilas y mesófilas del agua geotermal de Papallacta entre ellas *Bacillus subtilis*, la cual es de gran interés industrial y según Kovács (2019) estas bacterias poseen esporas durmientes que les permiten sobrevivir en ambientes totalmente adversos como lo son las altas temperaturas, así mismo producen metabolitos secundarios bioactivos que le confieren propiedades antibacterianas y antifúngicas. Como se puede observar, las 3 fuentes de agua utilizadas en este estudio presentan una diversidad microbiana baja o escasa siendo apta para el desarrollo del cultivo de trucha arcoíris.

Parámetros morfométricos

No se encontró un efecto significativo de la interacción Fuente x Probiótico para el peso ($F_{5,12} = 0,35$, $p = 0,71$), longitud ($F_{5,12} = 0,32$, $p = 0,74$) y ancho ($F_{5,12} = 0,25$, $p = 0,79$).

Peso (g). El análisis estadístico para la masa corporal (peso) presentó un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 29,22$, $p = 0,0002$). Los animales sometidos a la fuente de agua temperada presentaron mayor peso a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua natural (Tabla 16, Tabla 17 Figura 18, Figura19).

Tabla 16

*Medias \pm desviación estándar del peso corporal de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	0,65 \pm 0,04	0,64 \pm 0,04	0,55 \pm 0,06	0,71 \pm 0,08	0,75 \pm 0,07	0,73 \pm 0,07
30	0,85 \pm 0,11	0,90 \pm 0,05	0,82 \pm 0,03	1,02 \pm 0,08	1,20 \pm 0,15	0,88 \pm 0,12
45	1,70 \pm 0,11	1,76 \pm 0,08	1,44 \pm 0,14	1,97 \pm 0,66	1,98 \pm 0,36	1,75 \pm 0,19
60	1,80 \pm 0,15	1,88 \pm 0,09	1,50 \pm 0,14	2,31 \pm 0,79	4,13 \pm 0,39	2,03 \pm 0,49
75	2,41 \pm 0,16	2,60 \pm 0,21	2,08 \pm 0,07	4,13 \pm 1,33	4,25 \pm 0,60	3,38 \pm 0,95
90	3,27 \pm 0,17	3,46 \pm 0,32	2,87 \pm 0,04	5,90 \pm 1,51	5,51 \pm 0,91	4,69 \pm 1,04

Tabla 17

*Medias \pm desviación estándar del peso corporal de *Oncorhynchus mikyss* a través del tiempo*

Fuentes de agua	Peso corporal (g)
Temperada	5,36 \pm 1,15 a
Natural	3,20 \pm 0,32 b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 18

Comportamiento de la variable peso (g) por cada tratamiento

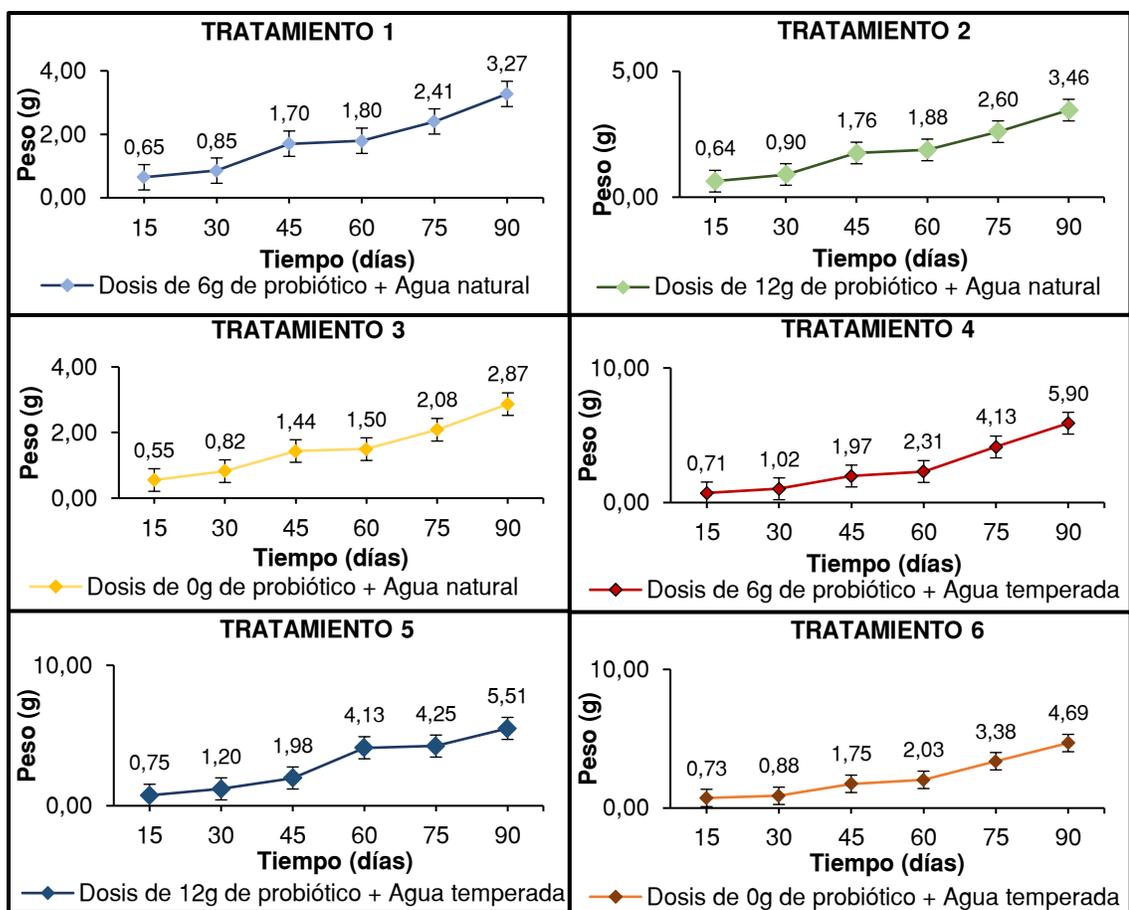
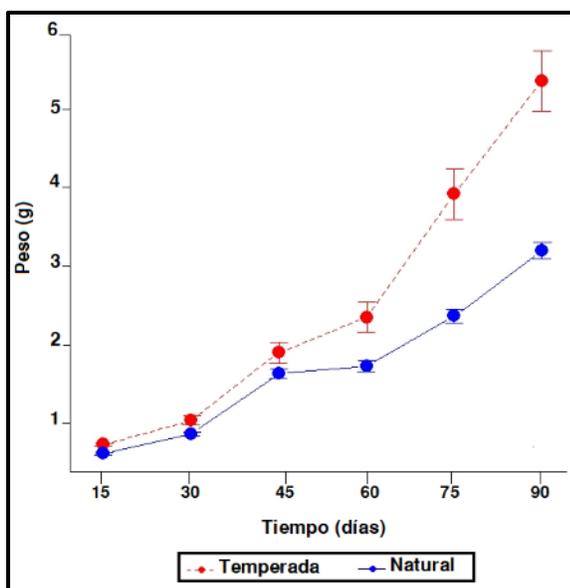


Figura 19

Promedio del peso corporal (g) de *Oncorhynchus mikyss* a través del tiempo bajo dos fuentes de agua



Los alevines sometidos a la fuente de agua temperada tuvieron un incremento de peso total final del 67,50 % respecto a los alevines sometidos al agua natural proveniente del río Papallacta durante los 90 días del experimento. Como es conocido el incremento de temperatura juega un rol fundamental en el aumento de la tasa metabólica de los peces, es decir que los animales para poder satisfacer la nueva demanda energética y metabólica consumieron más alimento influyendo significativamente en el peso total de los mismos (Wood & McDonald, 1997). Este argumento coincide con el estudio realizado por Edsall & Cleland (2000), quienes determinaron que la trucha de lago (*Salvelinus namaycush*) presentó una mayor relación peso-talla manteniendo una temperatura de 14,98°C, con respecto a los animales sometidos a temperaturas de 10,1°C.

De la misma manera Zdanovich et al. (2011), mencionan que las truchas arcoíris en estado juvenil expuestas a una temperatura constante de 17°C presentan un mayor peso final que aquellos expuestos a temperaturas mayores a la óptima. Por consiguiente, se puede observar que la temperatura de la fuente de agua temperada influyó significativamente en el incremento de peso en alevines de trucha arcoíris.

Longitud total. El análisis estadístico para la longitud total presentó un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 32,78, p \leq 0,05$). Los animales sometidos a la fuente de agua temperada presentaron mayor longitud total a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua natural (Tabla 18, Tabla 19, Figura 20, Figura 21).

Tabla 18

*Medias \pm desviación estándar de la longitud total de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	3,86 \pm 0,14	3,86 \pm 0,14	3,72 \pm 0,11	3,88 \pm 0,14	4,05 \pm 0,17	3,91 \pm 0,01
30	4,37 \pm 0,11	4,37 \pm 0,11	4,44 \pm 0,09	4,53 \pm 0,05	4,71 \pm 0,15	4,38 \pm 0,20
45	5,04 \pm 0,21	5,04 \pm 0,21	5,10 \pm 0,16	5,58 \pm 0,50	5,50 \pm 0,26	5,27 \pm 0,18
60	5,41 \pm 0,18	5,41 \pm 0,18	5,45 \pm 0,04	5,90 \pm 0,65	6,11 \pm 0,33	5,62 \pm 0,25
75	5,75 \pm 0,07	5,75 \pm 0,07	5,96 \pm 0,11	6,97 \pm 0,72	6,97 \pm 0,28	6,50 \pm 0,64
90	6,56 \pm 0,09	6,56 \pm 0,09	6,68 \pm 0,10	7,93 \pm 0,76	7,72 \pm 0,45	7,31 \pm 0,52

Tabla 19

Medias \pm desviación estándar de la longitud total de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a través del tiempo

Fuentes de agua	Longitud total (cm)
Temperada	7,65 \pm 0,58 a
Natural	6,51 \pm 0,19 b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 20

Comportamiento de la variable longitud (cm) por cada tratamiento

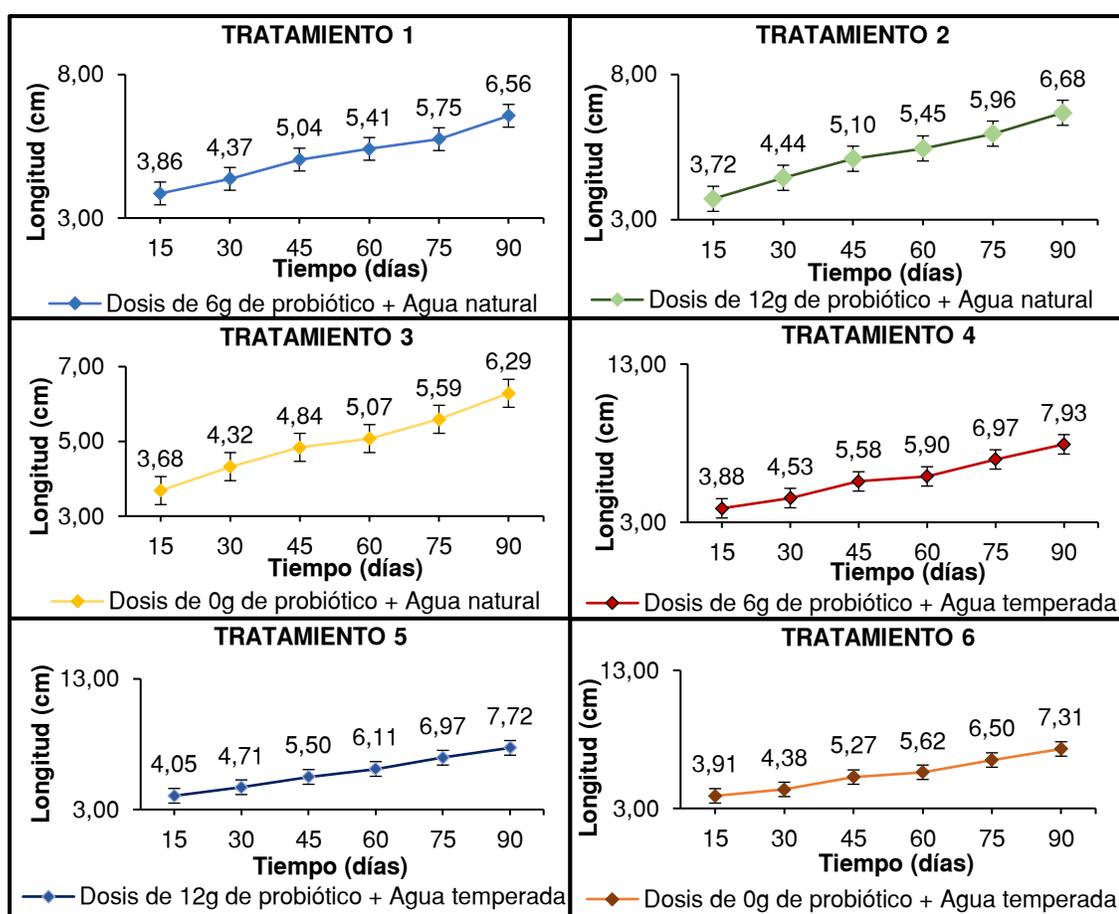
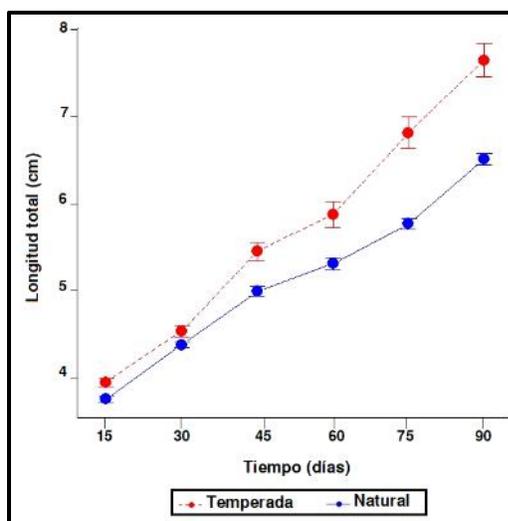


Figura 21

*Promedio de la longitud total (cm) de *Oncorhynchus mikyss* a través del tiempo bajo dos fuentes de agua*



Ancho total. El análisis estadístico para el ancho tuvo un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 41,87, p \leq 0,05$). Los animales sometidos a la fuente de agua temperada presentaron mayor ancho total a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua natural (Tabla 20, Tabla 21, Figura 22, Figura 23).

Tabla 20

*Medias \pm desviación estándar del ancho total de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	0,76 \pm 0,06	0,73 \pm 0,04	0,66 \pm 0,03	0,78 \pm 0,09	0,83 \pm 0,04	0,80 \pm 0,02
30	0,91 \pm 0,03	0,94 \pm 0,02	0,89 \pm 0,02	0,96 \pm 0,03	1,05 \pm 0,08	0,93 \pm 0,03
45	1,06 \pm 0,04	1,06 \pm 0,03	1,00 \pm 0,01	1,25 \pm 0,09	1,21 \pm 0,10	1,09 \pm 0,04
60	1,22 \pm 0,04	1,22 \pm 0,01	1,12 \pm 0,04	1,43 \pm 0,12	1,39 \pm 0,07	1,26 \pm 0,05
75	1,39 \pm 0,03	1,45 \pm 0,05	1,36 \pm 0,03	1,62 \pm 0,16	1,65 \pm 0,05	1,55 \pm 0,11
90	1,48 \pm 0,03	1,55 \pm 0,06	1,42 \pm 0,02	1,75 \pm 0,13	1,76 \pm 0,10	1,68 \pm 0,10

Tabla 21

Medias \pm desviación estándar del ancho total de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a través del tiempo

Fuentes de agua	Ancho total (cm)
Temperada	1,73 \pm 0,10 a
Natural	1,48 \pm 0,07b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 22

Comportamiento de la variable ancho total (cm) por cada tratamiento

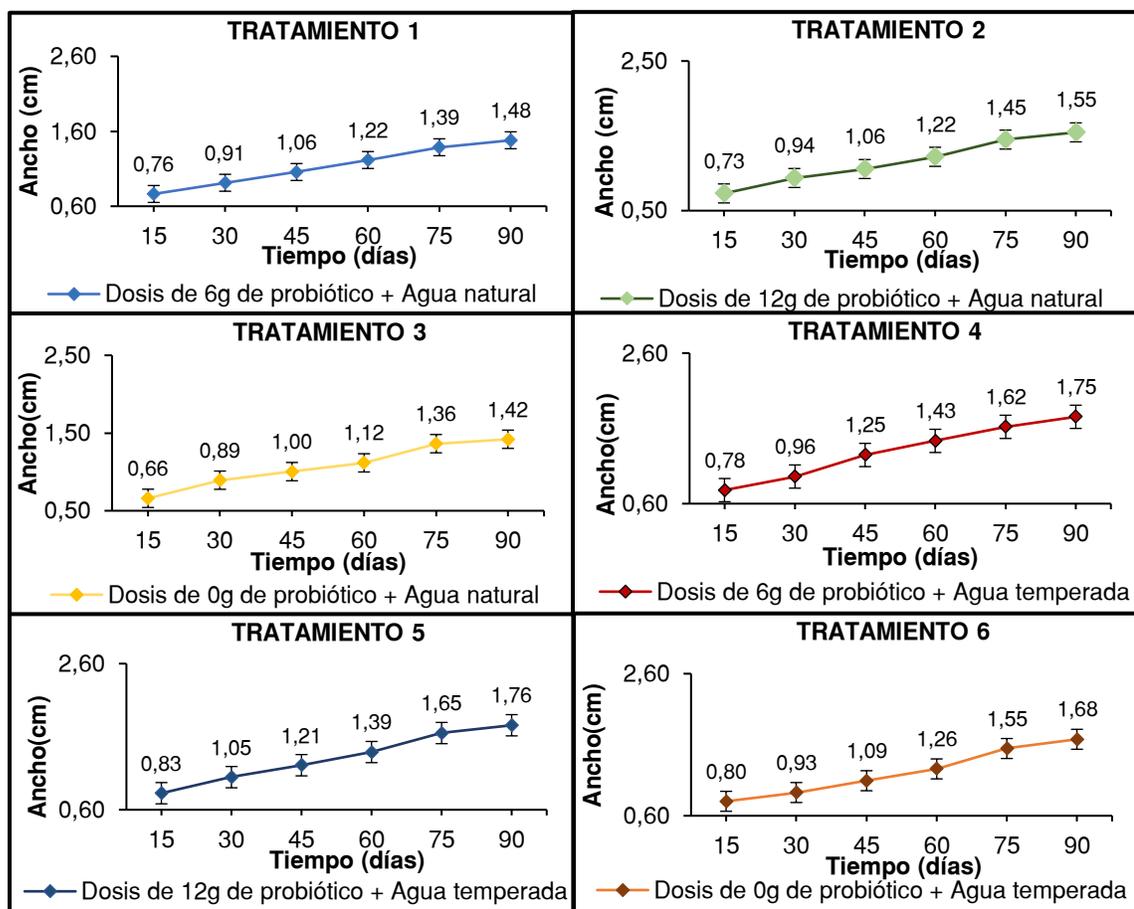
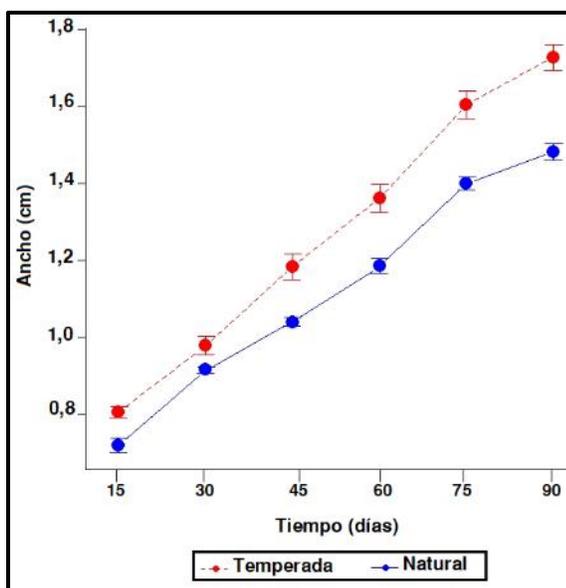


Figura 23

*Promedio del ancho total (cm) de *Oncorhynchus mykiss* a través del tiempo bajo dos fuentes de agua*



El uso de agua temperada en los alevines de trucha arcoíris tuvo un incremento de 17,51% de longitud total y 16,89% de ancho total con respecto a los alevines sometidos al agua natural. De la misma manera esto se vio influenciado por el incremento de temperatura de la fuente de agua temperada. Este fenómeno se puede observar en el estudio de Magoulick & Wilzbach (1998), en el cual la trucha arcoíris fue sometida a temperaturas de 13°C y 18°C y presentó un incremento del 34,74% de longitud total a una temperatura de 18°C con respecto a los animales sometidos a la temperatura de 13°C. Como también, Meka & McCormick (2005) mencionan que la temperatura influye en el incremento del cortisol y el lactato en el plasma, los cuales se encuentran relacionados con la talla de los peces. Estos resultados demuestran que el uso de una fuente de agua temperada a una temperatura promedio de 14,97°C influye positivamente en la longitud y ancho de los alevines de trucha arcoíris.

Parámetros productivos

No se encontró un efecto significativo de la interacción fuente probiótico para la ganancia de peso ($F_{5,12} = 0,19$, $p = 0,83$), índice de condición corporal ($F_{5,12} = 0,36$, $p = 0,71$), tasa de crecimiento específico ($F_{5,12} = 0,02$, $p = 0,98$), coeficiente de crecimiento térmico ($F_{5,12} = 0,15$, $p = 0,86$), factor de conversión alimenticia ($F_{5,12} = 0,49$, $p = 0,62$), eficiencia de conversión alimenticia ($F_{5,12} = 0,65$, $p = 0,54$) y supervivencia ($F_{5,12} = 0,26$, $p = 0,92$).

Ganancia de peso corporal/ día. El análisis estadístico para la ganancia de peso presentó un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 15,43$, $p = 0,00016$). Los animales sometidos a la fuente de agua temperada presentaron mayor ganancia de peso a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua natural (Tabla 22, Tabla 23, Figura 25, Figura 26).

Tabla 22

*Medias \pm desviación estándar de la ganancia de peso (g/día) de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	0,020 \pm 0,03	0,020 \pm 0,001	0,014 \pm 0,004	0,025 \pm 0,005	0,027 \pm 0,004	0,026 \pm 0,005
30	0,014 \pm 0,008	0,018 \pm 0,003	0,018 \pm 0,003	0,021 \pm 0,009	0,031 \pm 0,006	0,010 \pm 0,004
45	0,057 \pm 0,002	0,057 \pm 0,004	0,041 \pm 0,008	0,063 \pm 0,013	0,052 \pm 0,03	0,058 \pm 0,03
60	0,006 \pm 0,005	0,008 \pm 0,002	0,004 \pm 0,003	0,022 \pm 0,009	0,143 \pm 0,008	0,019 \pm 0,014
75	0,041 \pm 0,012	0,048 \pm 0,014	0,039 \pm 0,004	0,121 \pm 0,045	0,008 \pm 0,016	0,090 \pm 0,041
90	0,058 \pm 0,001	0,057 \pm 0,02	0,052 \pm 0,006	0,118 \pm 0,017	0,084 \pm 0,028	0,088 \pm 0,012

Tabla 23

Medias \pm desviación estándar de la ganancia de peso de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a través del tiempo

Fuentes de agua	Ganancia de peso (g/día)
Temperada	0,056 \pm 0,039 a
Natural	0,032 \pm 0,029 b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 24

Comportamiento de la variable ganancia de peso (g/día) por cada tratamiento

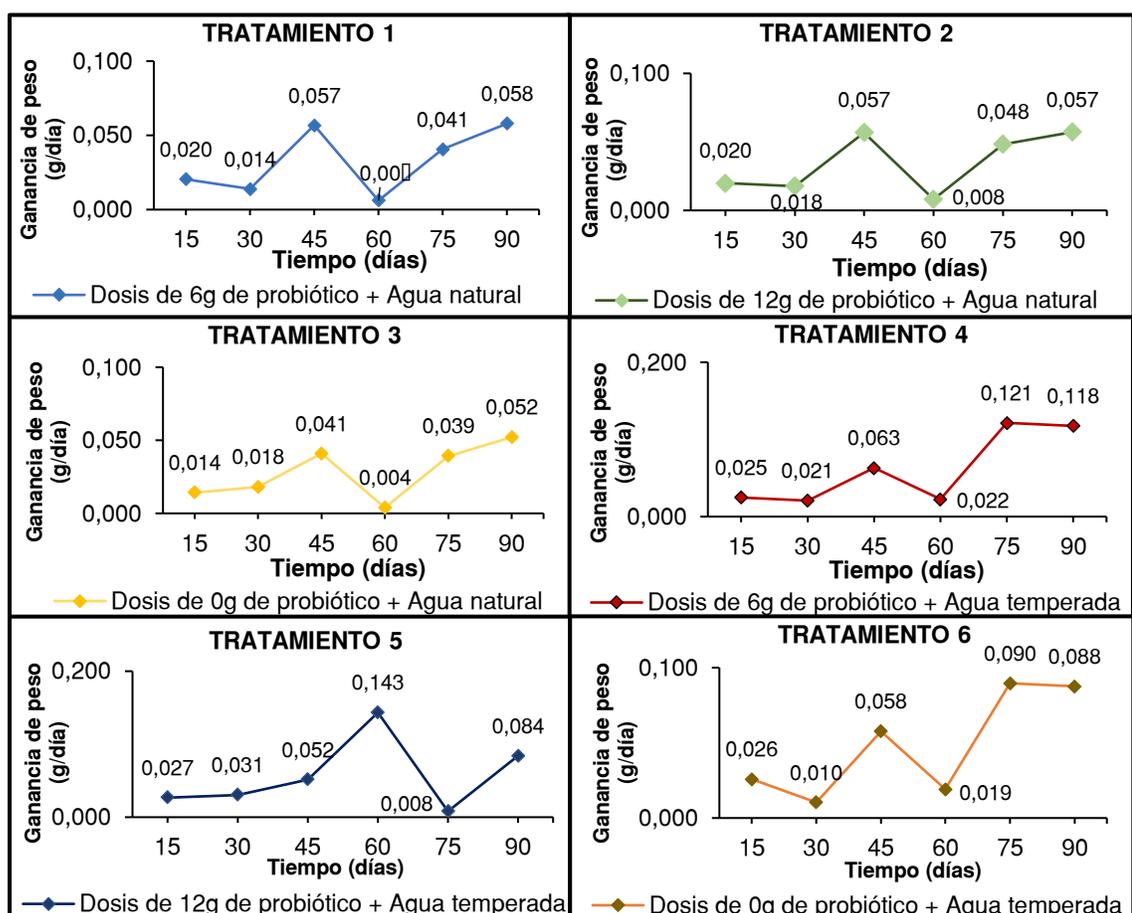
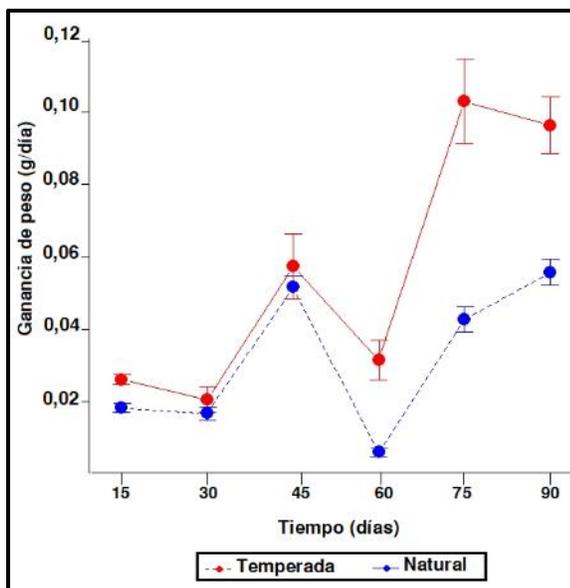


Figura 25

*Promedio de la ganancia de peso (g/día) de *Oncorhynchus mikyss* a través del tiempo bajo dos fuentes de agua*



La mayor ganancia de peso se obtuvo con la fuente de agua temperada, este suceso pudo ser atribuido al incremento de temperatura del agua de cultivo. Como se puede observar en el estudio realizado por Zdanovich et al. (2011) donde mencionan que utilizar una fuente de agua cálida con una temperatura constante de 17°C mejora los índices productivos de la trucha arcoíris en etapa juvenil, sin embargo el incremento de temperatura a 19-21°C conduce a una disminución significativa de la ganancia de peso diaria. Igualmente Azevedo et al. (1998), determinaron que la mayor ganancia de peso por día se consiguió a una temperatura de 15°C y rangos inferiores a esta disminuían la ganancia de peso de los animales. De modo que, mantener una temperatura del agua óptima para la especie influye positivamente en el crecimiento de los animales.

Índice de condición corporal. El análisis estadístico para el índice de condición corporal no presentó un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 1,43, p = 0,26$) ni el

probiótico ($F_{5,12} = 0,054$, $p = 0,95$). Los animales sometidos a las fuentes de agua natural y temperada junto a las dosis de probiótico (0g, 6g, 12g) no presentaron diferencias significativas para el índice de condición corporal a los 90 días del experimento. (Tabla 24, Tabla 25, Figura 25, Figura 26).

Tabla 24

*Medias \pm desviación estándar de la ganancia de peso (g/día) de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	1,13 \pm 0,15	1,24 \pm 0,10	1,11 \pm 0,17	1,22 \pm 0,13	1,12 \pm 0,17	1,22 \pm 0,12
30	1,03 \pm 0,06	1,03 \pm 0,01	1,02 \pm 0,03	1,10 \pm 0,05	1,15 \pm 0,05	1,05 \pm 0,03
45	1,33 \pm 0,12	1,32 \pm 0,02	1,27 \pm 0,11	1,13 \pm 0,13	1,19 \pm 0,13	1,19 \pm 0,03
60	1,13 \pm 0,09	1,16 \pm 0,04	1,15 \pm 0,03	1,12 \pm 0,02	1,81 \pm 0,02	1,15 \pm 0,10
75	1,27 \pm 0,04	1,23 \pm 0,05	1,19 \pm 0,01	1,22 \pm 0,10	1,26 \pm 0,03	1,23 \pm 0,03
90	1,16 \pm 0,04	1,16 \pm 0,07	1,15 \pm 0,03	1,18 \pm 0,08	1,20 \pm 0,03	1,20 \pm 0,03

Tabla 25

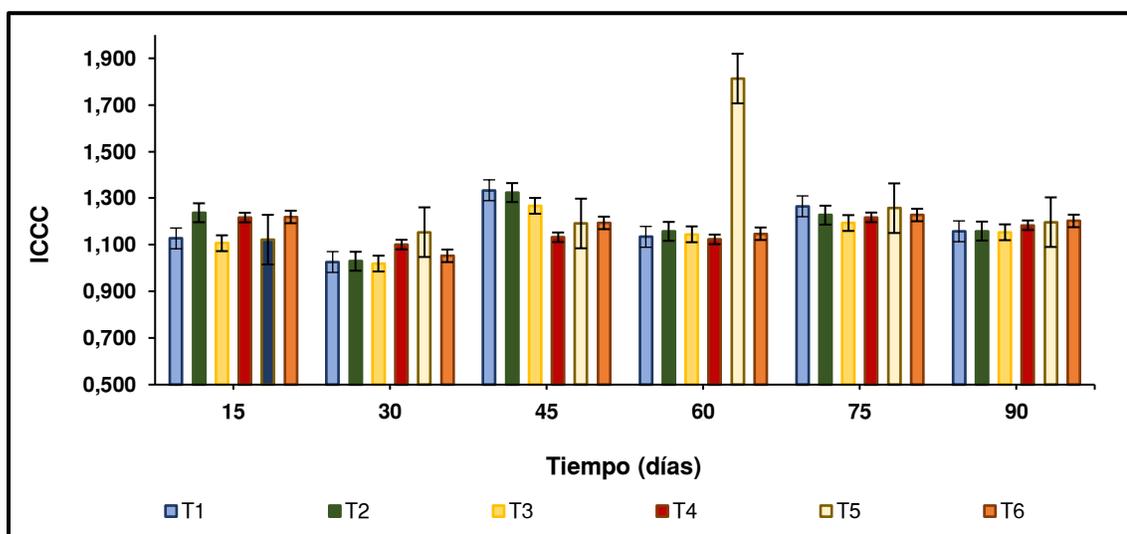
*Medias \pm desviación estándar del índice de condición corporal de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tratamientos	ICC
T1	1,18 \pm 0,02 a
T2	1,19 \pm 0,05 a
T3	1,15 \pm 0,03 a
T4	1,20 \pm 0,02 a
T5	1,18 \pm 0,02 a
T6	1,17 \pm 0,04 a

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 26

Comportamiento de la variable índice de condición corporal por cada tratamiento



Los peces al final del experimento presentaron un índice de condición corporal de $1,18 \pm 0,02$, valor que según Barnham & Baxter (2003), se encuentra dentro de un rango aceptable. Además, en un estudio llevado a cabo por Robinson et al. (2008), quienes sometieron a (*Oncorhynchus clarkii henshawi*) en etapa juvenil a un máximo térmico de $25,7^{\circ}\text{C}$, obtuvieron índices K de 0,974 y 0,952 con pesos de 6,89-8,49 g y longitudes de 8,82 y 9,61 cm respectivamente, demostrando así que el factor de condición K puede ser un indicador de tolerancia térmica en salmónidos. Lo expuesto anteriormente demuestra que para mantener una condición corporal adecuada es importante manejar temperaturas óptimas y no someter a los animales a máximos térmicos críticos.

Tasa de crecimiento específico (TCE). El análisis estadístico para la tasa de crecimiento específico presentó un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 3,80$, $p = 0,04$). Los animales sometidos a la fuente de agua temperada presentaron mayor tasa de crecimiento a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua natural (Tabla 26, Tabla 27, Figura 27).

Tabla 26

*Medias \pm desviación estándar de la tasa de crecimiento específico de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	4,29 \pm 0,41	4,19 \pm 0,22	3,24 \pm 0,74	4,93 \pm 0,71	5,23 \pm 0,60	5,07 \pm 0,63
30	1,86 \pm 0,89	2,33 \pm 0,41	2,66 \pm 0,66	2,41 \pm 1,07	3,19 \pm 0,30	1,29 \pm 0,40
45	4,60 \pm 0,44	4,44 \pm 0,26	3,71 \pm 0,47	4,37 \pm 0,97	3,32 \pm 0,76	4,55 \pm 0,23
60	0,35 \pm 0,24	0,45 \pm 0,13	0,27 \pm 0,23	1,05 \pm 0,09	4,90 \pm 0,41	1,01 \pm 0,66
75	1,95 \pm 0,59	2,17 \pm 0,55	2,22 \pm 0,37	3,88 \pm 1,08	0,19 \pm 0,22	3,38 \pm 0,90
90	2,06 \pm 0,10	1,90 \pm 0,65	2,12 \pm 0,27	2,37 \pm 0,53	1,73 \pm 0,38	2,19 \pm 0,49

Tabla 27

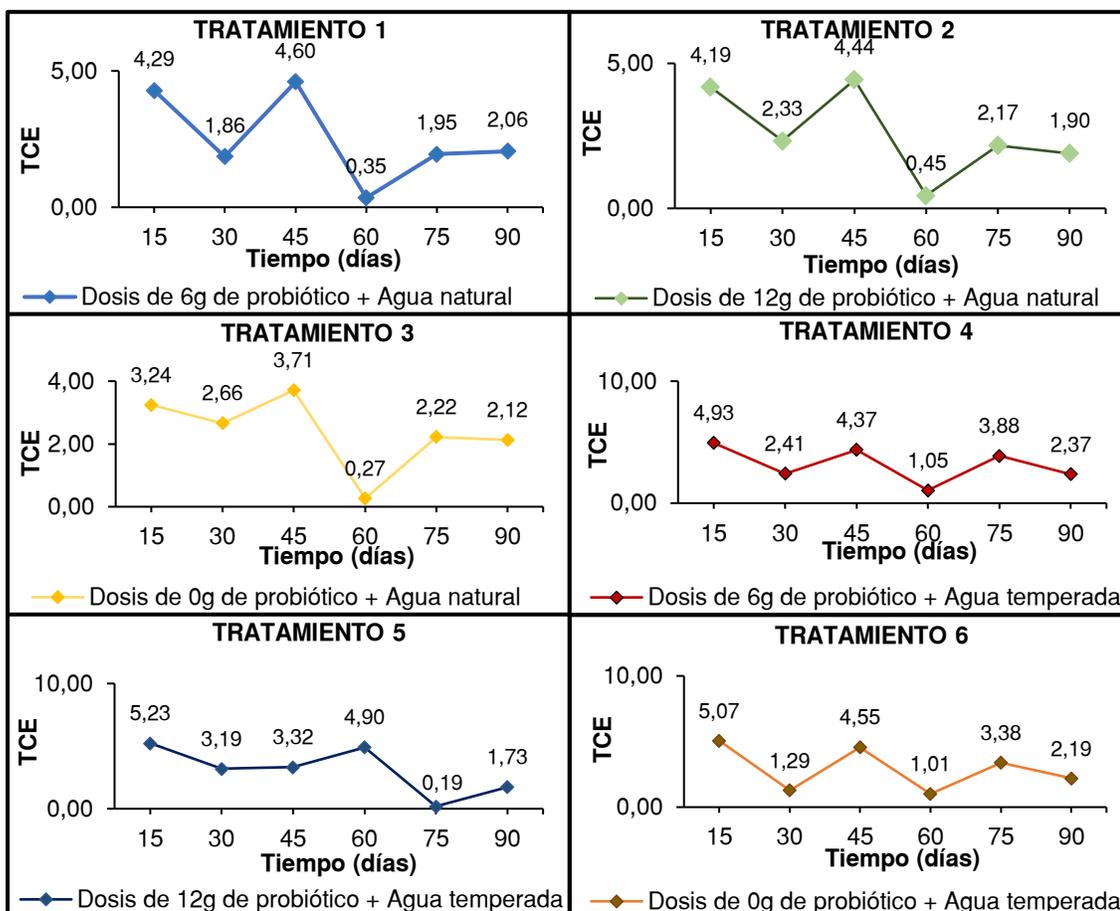
*Medias \pm desviación estándar de la tasa de crecimiento específico de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a los 90 días del experimento*

Fuentes de agua	TCE
Agua natural	2,49 \pm 0,20 a
Agua temperada	3,04 \pm 0,17 b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 27

Comportamiento de la variable tasa de crecimiento específico por cada tratamiento



La mayor tasa de crecimiento específico (TCE) se alcanzó con la fuente de agua temperada con un máximo de 3,04%/día. Hepher et al. (1993), mencionan que la influencia de la temperatura sobre el crecimiento puede deberse a la acción de dos hormonas como la somatotropina que es producida en la hipófisis o la tiroxina que se produce en la glándula tiroides, las cuales participan en el metabolismo y crecimiento de los peces aumentando las secreciones y actividades enzimáticas que participan en la rapidez de absorción del alimento por medio de la pared intestinal. No obstante, el incremento de temperatura también repercute en la rapidez del transporte de alimento, por ende, el tiempo de exposición del alimento a estas

enzimas será más corto. En otras palabras, el pez comerá más para satisfacer las demandas energéticas dadas por el aumento de la temperatura.

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con lo expuesto por Hokanson et al. (1977), en el cual determinaron que la mayor tasa de crecimiento (5,24%/día) de *Oncorhynchus mikyss* se obtuvo a una temperatura de 15°C. Lo mismo se puede observar en el estudio de Castillo et al. (2015), donde obtuvieron una tasa de crecimiento acumulada de 2,36 g/día a una temperatura de 15°C. Por consiguiente, la temperatura del agua influye directamente en la tasa metabólica del animal, además de presidir en procesos de crecimiento e ingestión.

Coefficiente de crecimiento térmico (TGC). El análisis estadístico para la tasa de crecimiento térmico no presentó un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 0,006$, $p = 0,94$) ni el probiótico ($F_{5,12} = 2,25$, $p = 0,148$). Los animales sometidos a las fuentes de agua natural y temperada junto a las dosis de probiótico (0g, 6g, 12g) no presentaron diferencias significativas para el coeficiente de crecimiento térmico a los 90 días del experimento (Tabla 28, Tabla 29, Figura 28).

Tabla 28

*Medias \pm desviación estándar del coeficiente de crecimiento térmico de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico durante el experimento*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	1,14 \pm 0,12	1,11 \pm 0,07	0,84 \pm 0,21	0,87 \pm 0,14	0,93 \pm 0,13	0,90 \pm 0,13
30	0,28 \pm 0,14	0,36 \pm 0,06	0,39 \pm 0,02	0,25 \pm 0,06	0,35 \pm 0,10	0,13 \pm 0,10
45	0,55 \pm 0,05	0,54 \pm 0,04	0,43 \pm 0,08	0,36 \pm 0,05	0,28 \pm 0,03	0,36 \pm 0,06
60	0,04 \pm 0,06	0,05 \pm 0,03	0,03 \pm 0,06	0,07 \pm 0,15	0,39 \pm 0,07	0,07 \pm 0,09

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
75	0,17±0,04	0,19±0,05	0,18±0,02	0,24±0,14	0,01±0,07	0,21±0,13
90	0,16±0,03	0,15±0,05	0,16±0,01	0,15±0,13	0,11±0,07	0,13±0,10

Tabla 29

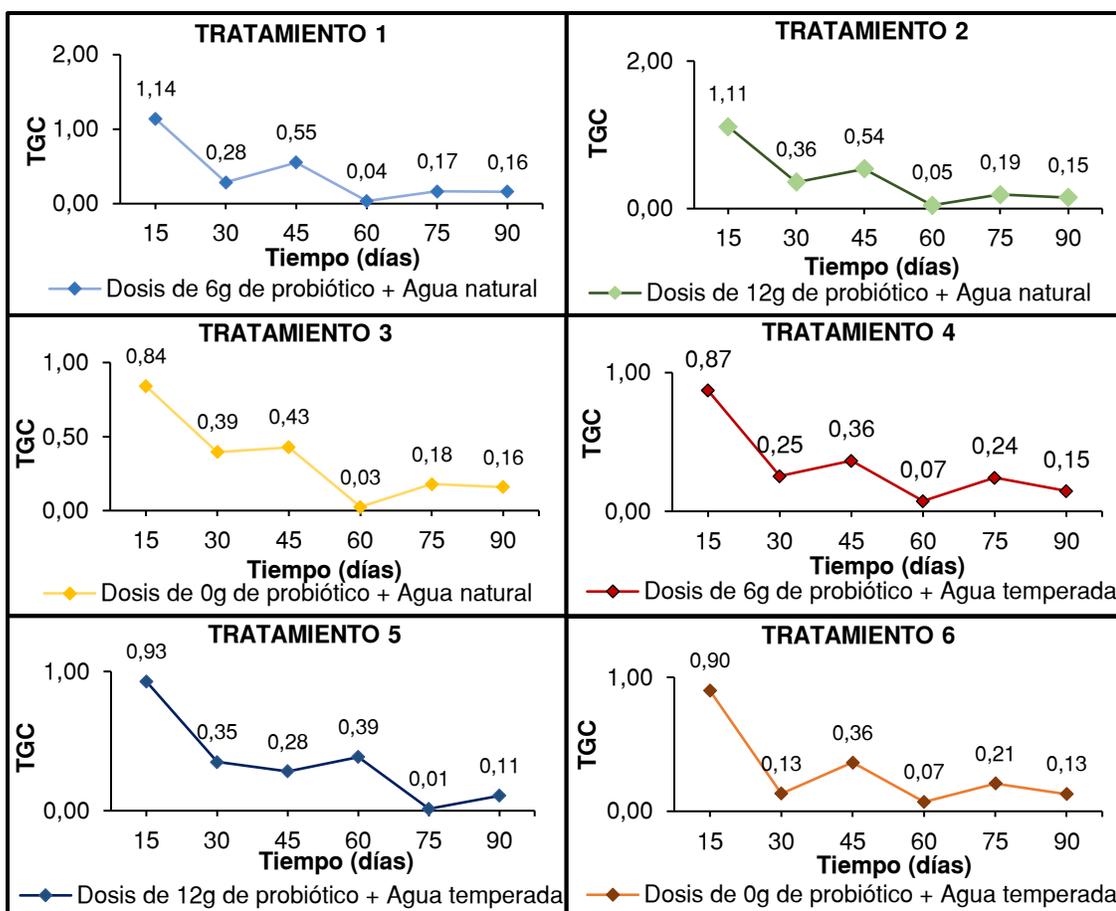
*Medias ± desviación estándar del coeficiente de crecimiento térmico de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a los 90 días del experimento*

Fuentes de agua	TGC
T1	0,62±0,04 a
T2	0,65±0,02 a
T3	0,49±0,07 a
T4	0,55±0,01 a
T5	0,60±0,02 a
T6	0,50±0,07 a

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 28

Comportamiento de la variable coeficiente de crecimiento térmico por cada tratamiento



El coeficiente de crecimiento térmico no difirió entre tratamientos. De la misma manera, este resultado se observa en el estudio de Azevedo et al. (1998), donde mencionan que el efecto de varios niveles de alimentación, conjuntamente con la temperatura del agua, no fueron significativos para ciertos parámetros productivos, entre ellos el coeficiente de crecimiento térmico. Este resultado no es idóneo para proyecciones de crecimiento, ya que para establecer un modelo confiable con este indicador se utilizan temperaturas constantes (Jobling et al., 1994, como se citó en Venegas et al., 2008).

Factor de conversión alimenticia (FCA). El análisis estadístico para el factor de conversión alimenticia mostró un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 4,34$, $p = 0,05$). Los animales sometidos a la fuente de agua temperada presentaron mayor eficiencia de conversión alimenticia a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua natural (Tabla 30, Tabla 31, Figura 30, Figura 31).

Tabla 30

*Medias \pm desviación estándar del factor de conversión alimenticia de *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico durante el experimento*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	1,68 \pm 0,04	1,68 \pm 0,03	1,71 \pm 0,01	2,39 \pm 0,04	2,41 \pm 0,01	2,45 \pm 0,05
30	1,65 \pm 0,02	1,68 \pm 0,07	1,64 \pm 0,42	2,37 \pm 0,06	2,44 \pm 0,01	2,39 \pm 0,05
45	1,27 \pm 0,03	1,27 \pm 0,05	1,44 \pm 0,23	1,91 \pm 0,32	1,99 \pm 0,08	1,98 \pm 0,04
60	1,31 \pm 0,03	1,26 \pm 0,07	1,46 \pm 0,23	1,85 \pm 0,27	1,97 \pm 0,04	1,96 \pm 0,03
75	1,29 \pm 0,02	1,25 \pm 0,09	1,46 \pm 0,22	1,83 \pm 0,46	1,47 \pm 0,01	1,86 \pm 0,07
90	1,29 \pm 0,03	1,22 \pm 0,12	1,42 \pm 0,24	1,52 \pm 0,13	1,52 \pm 0,20	1,48 \pm 0,29

Tabla 31

*Medias \pm desviación estándar del factor de conversión alimenticia de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a través del tiempo*

Fuentes de agua	FCA
Agua natural	1,32 \pm 0,16 a
Agua temperada	1,50 \pm 0,19 b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 29

Comportamiento de la variable factor de conversión alimenticia por cada tratamiento

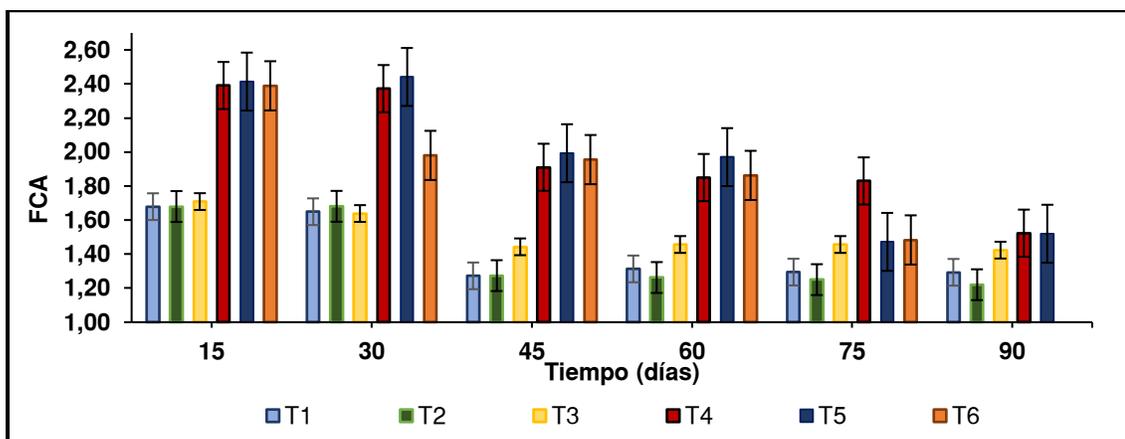
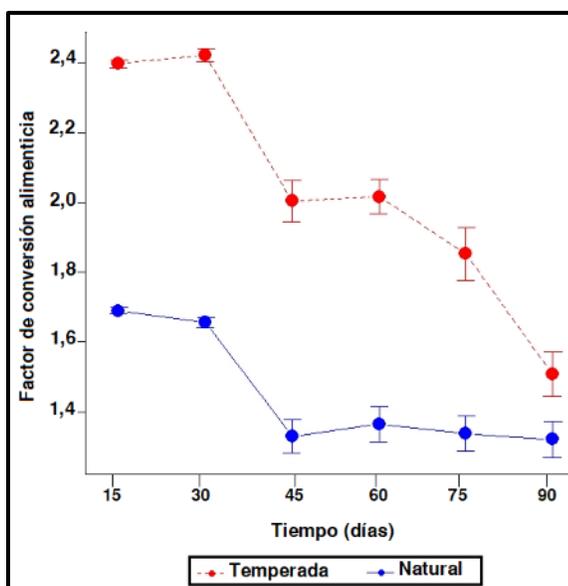


Figura 30

Promedio del Factor de Conversión Alimenticia de *Oncorhynchus mykiss* a Través del Tiempo

Bajo dos Fuentes de Agua



Estos resultados coinciden con algunos estudios como el de Castillo et al. (2015), donde evaluaron el comportamiento de la trucha arcoíris a una temperatura promedio de 15°C y se obtuvo un FCA de 1,49. Por otro lado, Figueroa et al. (1997), obtuvieron un FCA de 1,4 a una

temperatura de 19°C. Por ende, como menciona Hepher et al. (1993), cualquier factor que influya en la ganancia de peso también influirá en el FCA, tal es el caso de la temperatura que como se ha mencionado anteriormente es el factor más influyente en el crecimiento de los peces.

Eficiencia de conversión alimenticia (ECA). El análisis estadístico para el factor de conversión alimenticia mostró un efecto significativo para la fuente de agua ($F_{5,12} = 4,88$, $p = 0,047$). Los animales sometidos a la fuente de agua natural presentaron mayor eficiencia de conversión alimenticia a los 90 días del experimento respecto a los animales sometidos al agua temperada (Tabla 32, Tabla 33, Figura 32, Figura 33).

Tabla 32

*Medias \pm desviación estándar de la eficiencia de conversión alimenticia *Oncorhynchus mikyss* bajo el efecto de dos fuentes de agua y dieta con diferentes dosis de probiótico durante el experimento*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
15	59,57 \pm 1,27	59,54 \pm 1,12	58,53 \pm 0,29	41,83 \pm 0,79	41,43 \pm 0,12	40,83 \pm 0,91
30	60,64 \pm 0,84	59,50 \pm 2,39	61,03 \pm 1,01	42,15 \pm 1,13	40,96 \pm 0,08	41,86 \pm 0,87
45	78,60 \pm 1,70	78,52 \pm 3,13	69,31 \pm 1,58	52,36 \pm 1,89	50,18 \pm 2,26	50,51 \pm 0,96
60	76,16 \pm 1,62	79,22 \pm 1,04	68,66 \pm 1,96	54,05 \pm 1,98	50,76 \pm 1,14	51,14 \pm 0,80
75	77,26 \pm 1,50	80,00 \pm 2,01	68,66 \pm 1,15	54,64 \pm 1,34	67,94 \pm 0,08	53,69 \pm 2,03
90	77,33 \pm 1,54	81,97 \pm 1,63	70,25 \pm 1,23	65,66 \pm 1,59	65,80 \pm 1,52	67,42 \pm 1,23

Tabla 33

*Medias \pm desviación estándar de la eficiencia de conversión alimenticia de *Oncorhynchus mikyss* bajo dos fuentes de agua a través del tiempo*

Fuentes de agua	EA
Agua natural	76,51 \pm 8,35 a
Agua temperada	67,18 \pm 8,20 b

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 31

Comportamiento de la variable factor de conversión alimenticia por cada tratamiento

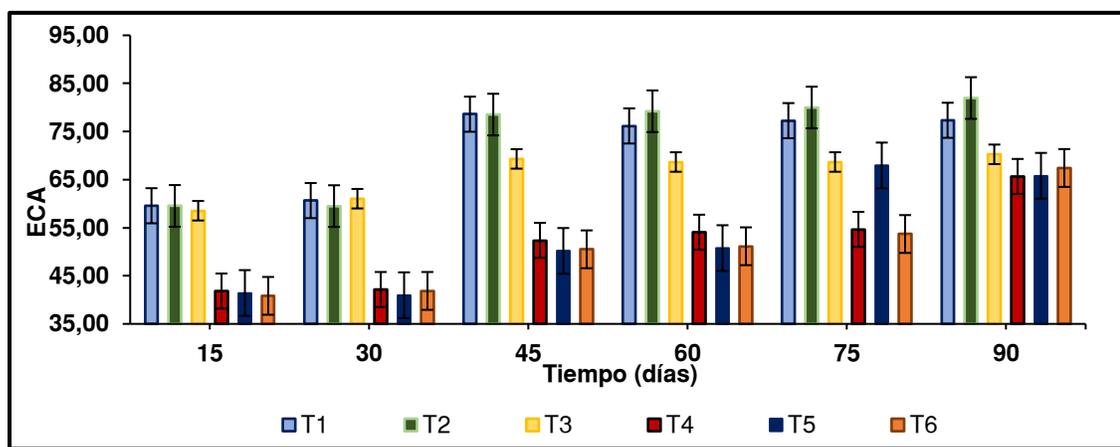
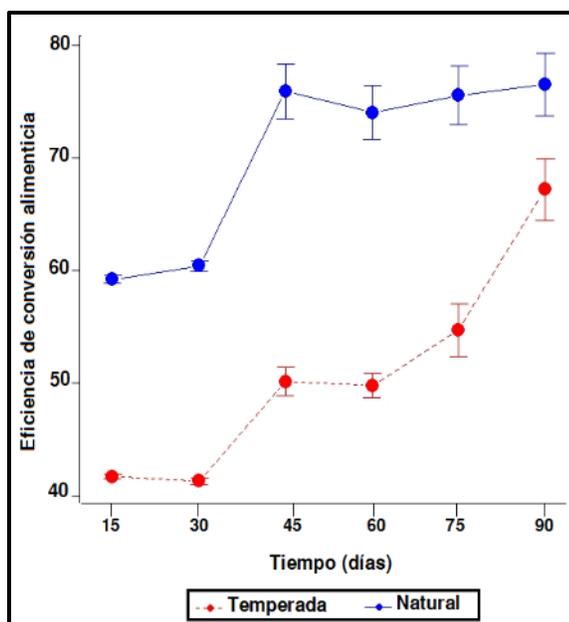


Figura 32

*Promedio de la ganancia de peso (g/día) de *Oncorhynchus mikyss* a través del tiempo bajo dos fuentes de agua*



La eficiencia de conversión alimenticia (ECA) se vio influenciada por la fuente de agua natural. Esto se debe a que un bajo factor de conversión alimenticia transformará de manera más eficiente el alimento en carne. Según Hopher et al. (1993), el factor de conversión alimenticia tiene una estrecha relación con el nivel de alimentación, por lo tanto al disminuir el factor de conversión, el nivel de alimentación incrementará, y si esta sigue aumentando la eficiencia de conversión disminuirá. Este fenómeno se puede observar en otros estudios como el de Arzel et al. (1998), donde evaluaron el crecimiento de alevines de trucha marrón a partir de diferentes dietas proteicas y observaron que al aumentar la tasa de consumo de alimento disminuía la eficiencia de conversión. En síntesis, los animales sometidos a la fuente de agua natural consumieron menos alimento, pero lo convirtieron de manera más eficiente.

Tasa de supervivencia. El análisis estadístico para la tasa de supervivencia no presentó un efecto significativo para la fuente ($F_{5,12} = 0,77$, $p = 0,3986$) ni el probiótico ($F_{5,12} =$

1,02, $p = 0,3694$). Los animales sometidos a las fuentes de agua natural y temperada junto a las dosis de probiótico (0g, 6g, 12g) no presentaron diferencias significativas en supervivencia al final del experimento (Tabla 34, Figura 32).

Tabla 34

*Medias \pm desviación estándar de la tasa de supervivencia (%) de *Oncorhynchus mikyss* por cada tratamiento a través del tiempo*

Tiempo (días)	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	100 \pm 0,00	100 \pm 0,00	100 \pm 0,00	100 \pm 0,00	100 \pm 0,00	100 \pm 0,00
15	98,89 \pm 1,92	98,89 \pm 1,92	100 \pm 0,00	98,89 \pm 1,92	100 \pm 0,00	98,89 \pm 1,92
30	97,78 \pm 3,85	95,56 \pm 01,93	95,56 \pm 1,93	96,07 \pm 3,34	100 \pm 0,0	98,89 \pm 1,92
45	95,56 \pm 3,85	95,56 \pm 1,93	91,11 \pm 5,09	96,07 \pm 3,34	100 \pm 0,00	98,89 \pm 1,92
60	94,44 \pm 5,09	95,56 \pm 1,93	91,11 \pm 5,09	95,56 \pm 1,93	98,89 \pm 1,92	97,78 \pm 1,92
75	93,33 \pm 6,67	95,56 \pm 1,93	91,11 \pm 5,09	92,22 \pm 5,09	94,44 \pm 1,93	93,33 \pm 3,34
90	92,22 \pm 7,39	95,56 \pm 1,93	88,89 \pm 6,94	90,00 \pm 6,67	91,11 \pm 1,92	88,89 \pm 1,92

Tabla 35

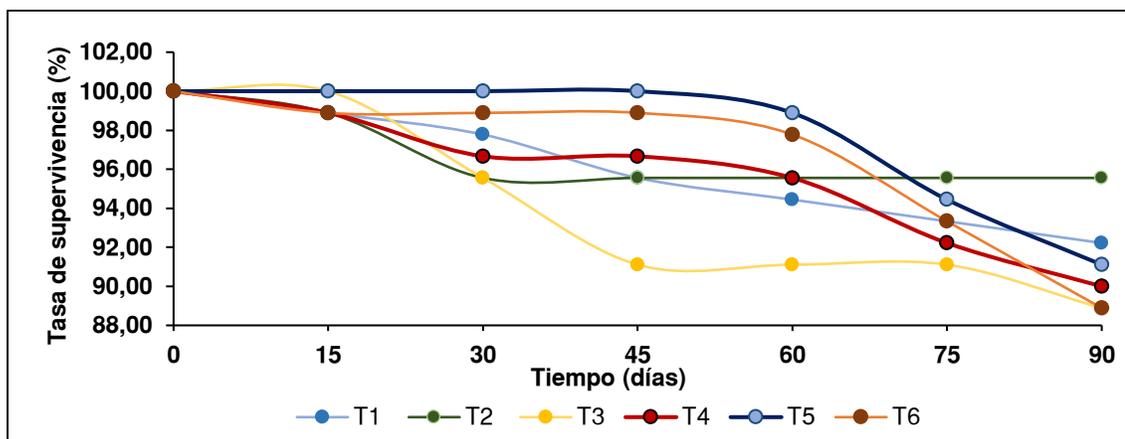
*Medias \pm desviación estándar de la tasa de supervivencia (%) de *Oncorhynchus mikyss* por cada tratamiento al final del experimento*

Tratamiento	Descripción	Número de peces	Tasa de supervivencia (%)
T1	6g+Agua natural	90	92,22 \pm 7,39 a
T2	12g+Agua natural	90	95,56 \pm 1,93 a
T3	0g+Agua natural	90	88,89 \pm 6,94 a
T4	6g+Agua temperada	90	90,00 \pm 6,67 a
T5	12g+Agua temperada	90	91,11 \pm 1,92 a
T6	0g+Agua temperada	90	88,89 \pm 1,92 a

Nota. Columnas con letras semejantes son estadísticamente iguales (Tukey; $p > 0,05$).

Figura 33

*Comportamiento de la tasa de supervivencia (%) de *Oncorhynchus mikyss* por cada tratamiento a través del tiempo*



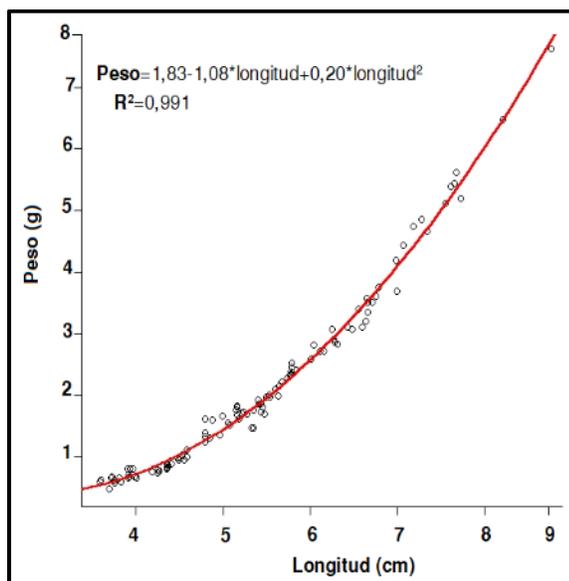
La tasa de supervivencia para los alevines de *Oncorhynchus mikyss*, fue similar entre tratamientos. No obstante, se observó una tendencia a una mayor supervivencia en los animales del T2 (12g de probiótico+ Agua natural) con respecto a los demás tratamientos. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Naseri et al. (2013) , donde sometieron a alevines de trucha arcoíris a diferentes dietas a base de *Bacillus licheniformis* y *B. subtilis*, obteniendo una supervivencia del 99% . De la misma manera, en un estudio realizado por Bagheri et al. (2008), suministraron dietas con probióticos a base de *Bacillus subtilis* en dosis de (T1: 4.8×10^8 , T2: 1.2×10^9 , T3: 2.01×10^9 , T4: 3.8×10^9 , T5: 6.1×10^9 CFU g⁻¹ y un control: sin probiótico) a alevines de *Oncorhynchus mikyss*, donde todos los tratamientos fueron estadísticamente mayores al control. En conclusión, los tratamientos con dietas a base de probióticos aumentan la tasa de supervivencia de los animales, debido a que como menciona Zhou & Wang (2012), los probióticos pueden mejorar el sistema inmune innato y adquirido del huésped.

Analisis de regresión

Relación entre longitud y peso total. La longitud se relacionó con el peso de los alevines de trucha arcoíris mediante el siguiente modelo de regresión cuadrático: $\text{Peso} = 1,83 - 1,08 (\text{longitud}) + 0,20 (\text{longitud})^2 + E$ ($R^2 = 0,991$; $p < 0,05$) (Figura 34).

Figura 34

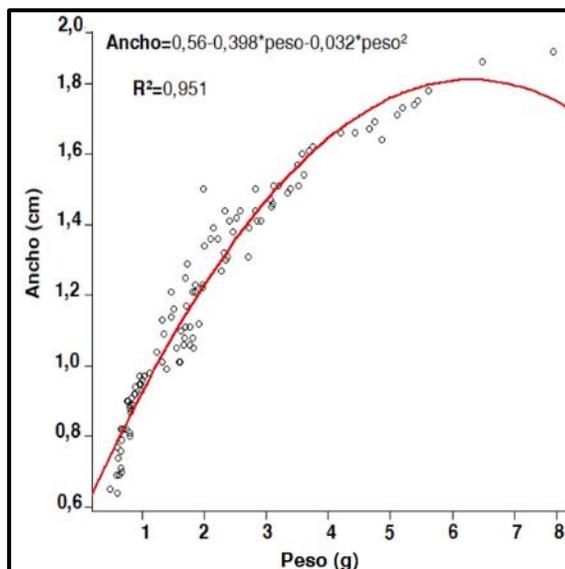
Relación entre el peso (g) y la longitud (cm)



Relación entre ancho y peso total. El ancho se relacionó con el peso de los alevines de trucha arcoíris mediante el siguiente modelo de regresión cuadrático: $\text{Ancho} = 0,56 - 0,398 (\text{peso}) - 0,03 (\text{peso})^2 + E$ ($R^2 = 0,951$; $p < 0,05$) (Figura 35).

Figura 35

Relación entre el peso (g) y el ancho (cm)

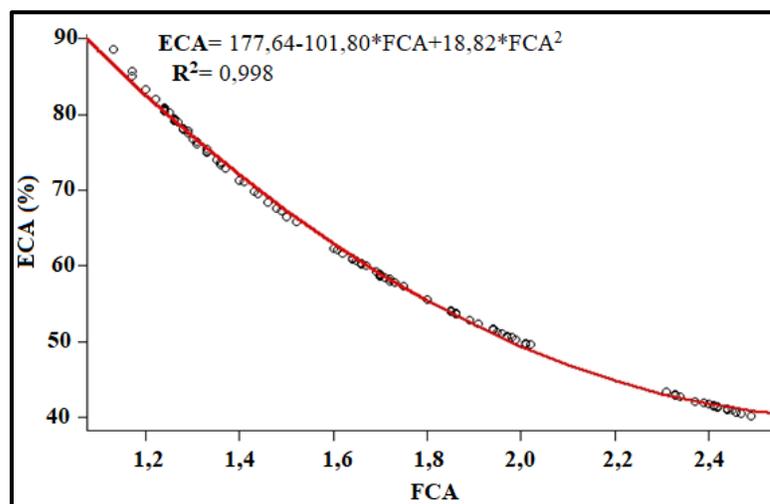


El análisis de regresión cuadrática entre las variables peso y longitud, así como la variable ancho total del animal muestra un $r^2 = 0,99$, infiriendo una fuerte relación bajo el efecto de los tratamientos entre las variables. Según Jellyman et al. (2013), la relación que existe entre peso y talla es de suma importancia para la deducción de edades, tasas de crecimiento, entre otros aspectos que pueden proporcionar información relevante sobre alguna especie acuática. Por lo tanto, este análisis indica que se pueden realizar predicciones del peso de los alevines de trucha arcoíris en base a su longitud con un 99% de certeza, siendo de gran ayuda para los operarios que presentan inconvenientes en la toma de datos de campo.

Relación entre el FCA y ECA. El Factor de conversión alimenticia (FCA) se relacionó con la eficiencia de conversión alimenticia (ECA) de los alevines de trucha arcoíris mediante el siguiente modelo de regresión cuadrático: $ECA = 177,64 - 101,80 (FCA) + 18,82 (FCA)^2 + E$ ($R^2 = 0,998$; $p < 0,05$) (Figura 36).

Figura 36

Relación entre el ECA (%) y FCA



El análisis de regresión cuadrática mostró una relación fuerte entre el factor de conversión alimenticia (FCA) y la eficiencia alimenticia ($r^2 = 0,99$). Como se menciona en el estudio de Craig et al. (2017), el cálculo de estas dos variables es de suma importancia para estimar los costos de producción y determinar si el alimento proporcionado está siendo aprovechado eficientemente por los animales. Por consiguiente, mediante este modelo de regresión cuadrático se confirma que estas dos variables se encuentran interrelacionadas positivamente.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se concluye que:

El uso de una fuente de agua de cultivo temperada con agua geotermal generó un efecto positivo en los parámetros morfométricos de los alevines de trucha arcoíris. De tal forma que, se pudo obtener un incremento del peso corporal de 67,50 %, 17,51% de longitud total y 16,89% de ancho total con respecto a los animales sometidos a la fuente de agua natural.

El uso de una fuente de agua de cultivo temperada y natural generó un efecto positivo en algunos parámetros productivos de los alevines de trucha arcoíris.

Al utilizar una fuente de agua temperada se pudo obtener 75% de mejora de ganancia de peso diaria, 22% de incremento en la tasa de crecimiento diaria, 13,63% de beneficio en el FCA, respecto a los valores obtenidos con fuente de agua natural.

Por el contrario, el uso de la fuente de agua natural influyó positivamente sobre el ECA obteniendo un 70,27% con respecto a la fuente de agua temperada.

Finalmente, la tasa de supervivencia no se vio afectada por la dosis de probiótico, ni por las fuentes de agua empleadas. No obstante, la supervivencia registró una tendencia a ser mayor con el uso de probióticos.

Recomendaciones

Se recomienda el uso de la fuente de agua temperada a una temperatura promedio de 15°C para promover un crecimiento óptimo y la inclusión del probiótico Fresh Plus® en dosis de 6 a 12g para aumentar la supervivencia de los animales en el centro de investigaciones CENIAC-Papallacta.

Para futuros estudios, se recomienda usar la fuente de agua temperada a una temperatura promedio de 15°C sobre el crecimiento de trucha arcoíris con pesos promedios iniciales de 80 g. Considerando los análisis de agua presentados en este estudio, se recomienda utilizar el agua temperada a una menor temperatura sobre cultivos hidropónicos, acuapónicos y microalgas.

Se recomienda realizar análisis hematológicos, bioquímicos e histológicos de animales sometidos a probióticos, fuentes de agua geotérmicas y la interacción de las mismas.

En caso de instalaciones con agua geotermal se debe evitar el taponamiento de tuberías que causarían la disminución de oxígeno en las tinas de alevinaje mediante limpiezas diarias.

Bibliografía

- Anon. (1998). *CHR. Hansem. Byo System. The Worlds microbial experts*. www.chrhansen.com.
 Infocarne.probióticos en nutrición animal
- Arce, E., & Figueroa, J. (2003). *Efecto de dietas con diferente contenido proteico en las tasas de crecimiento de crías del Bagre del Balsas Ictalurus balsanus (Pisces: Ictaluridae) en condiciones de cautiverio*. http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/18_7.pdf
- Arías, E. (2016). *Aislamiento e identificación de bacterias termófilas de la fuente geotermal Papallacta* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11850/1/T-ESPE-053265.pdf>
- Arregui, L. (2013). *El cultivo de la trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)* (Fundación Observatorio Español de Acuicultura). https://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/cuaderno_trucha_digital_web.pdf
- Arzel, J., Metailler, R., Le Gall, P., & Guillaume, J. (1998). Relationship between ration size and dietary protein level varying at the expense of carbohydrate and lipid in triploid brown trout fry, *Salmo trutta*. *Aquaculture*, 162(3-4), 259-268. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00164-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00164-1)
- Åtland, Å., Dale, T., & Bloecher, N. (2020). Environmental considerations in aquaculture health management. *Aquaculture Health Management* (pp. 235-280). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813359-0.00008-7>
- Avila, J. P., & Canul, R. P. (2002). *Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos*. 10.
- Azevedo, P., Cho, C., Leeson, S., & Bureau, D. (1998). Effects of feeding level and water temperature on growth, nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow

trout (). *Aquatic Living Resources*, 11(4), 227-238. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)89005-0](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)89005-0)

Bagheri, T., Hedayati, S. A., Yavari, V., Alizade, M., & Farzanfar, A. (2008). *Growth, Survival and Gut Microbial Load of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Fry Given Diet Supplemented with Probiotic during the Two Months of First Feeding*. 6.

Balcázar, J. L., de Blas, I., Ruiz, I., Vendrell, D., Calvo, A. C., Márquez, I., Gironés, O., & Muzquiz, J. L. (2007). Changes in intestinal microbiota and humoral immune response following probiotic administration in brown trout (*Salmo trutta*). *British Journal of Nutrition*, 97(3), 522-527. <https://doi.org/10.1017/S0007114507432986>

Baldwin, D. S. (2013). Organic phosphorus in the aquatic environment. *Environmental Chemistry*, 10(6), 439. <https://doi.org/10.1071/EN13151>

Barnham, C., & Baxter, A. (2003). *Condition Factor, K, for Salmonid Fish*. 3.

Benedini, M., & Tsakiris, G. (2013). *Water Quality Modelling for Rivers and Streams*. Springer Science & Business Media.

BIOINNOVA. (2016, mayo 28). Anatomía de un vertebrado: Trucha arcoíris. *BIOINNOVA*. <https://www.innovabiologia.com/biodiversidad/diversidad-animal/anatomia-oncorhynchus-mykiss/>

Blaxter, J. H. S. (1991). The effect of temperature on larval fishes. *Netherlands Journal of Zoology*, 42(2-3), 336-357. <https://doi.org/10.1163/156854291X00379>

Boyd, C. (2017). General Relationship Between Water Quality and Aquaculture Performance in Ponds. En *Fish Diseases* (pp. 147-166). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5>

- Boyd, C. (2019). *Salinidad en la acuicultura, Parte 2* « *Global Aquaculture Advocate*. Global Aquaculture Alliance. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/salinidad-en-la-acuicultura-parte-2/>
- Boyd, C., Tucker, C., & Somridhivej, B. (2016). Alkalinity and Hardness: Critical but Elusive Concepts in Aquaculture: ALKALINITY AND HARDNESS. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 6-41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Brijs, J., Gräns, A., Hjelmstedt, P., Sandblom, E., Van Nuland, N., Berg, C., & Axelsson, M. (2018). In vivo aerobic metabolism of the rainbow trout gut and the effects of an acute temperature increase and stress event. *Journal of Experimental Biology*, 221(14), jeb180703. <https://doi.org/10.1242/jeb.180703>
- Brusseau, M. L., Walker, D. B., & Fitzsimmons, K. (2019). Physical-Chemical Characteristics of Water. *Environmental and Pollution Science* (pp. 23-45). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00003-3>
- Canli, E. G., & Canli, M. (2020). Effects of aluminum, copper and titanium nanoparticles on the liver antioxidant enzymes of the Nile fish (*Oreochromis niloticus*). *Energy Reports*, 6, 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.047>
- Carrión, J. (2019). *El mercado de pesca y acuicultura en Ecuador*. ICEX. <https://documentcloud.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:bab008e3-10f7-4f88-b38a-6b57257d2a8c>
- Castillo, M., Hernández, J., Caamaño, J., & Urbina, A. (2015). *Evaluación productiva de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el instituto de investigaciones agropecuarias Universidad de Los Andes*. <https://documentcloud.adobe.com/link/review?uri=urn:aaid:scds:US:52aa0b17-e12b-4726-ae9e-b000f5e26cc0>

- Cho, C. Y. (1992). Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture*, *100*(1-3), 107-123. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90353-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90353-M)
- Covarrubias, J. C. B., & Ruiz, M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente Año*, *3*(8).
- Craig, S., Helfrich, L., Kuhn, D. D., & Schwarz, M. H. (2017). *Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding*. 6.
- de La Oliva, G. (2011). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el cultivo de trucha arco iris*. <https://docplayer.es/6836930-Manual-de-buenas-practicas-de-produccion-acuicola-en-el-cultivo-de-trucha-arco-iris.html>
- Decewicz, P., Dziewit, L., Golec, P., Kozłowska, P., Bartosik, D., & Radlinska, M. (2019). Characterization of the virome of *Paracoccus* spp. (Alphaproteobacteria) by combined in silico and in vivo approaches. *Scientific Reports*, *9*(1), 7899. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44460-4>
- Dockray, J. J., Reid, S. D., & Wood, C. M. (1996). Effects of elevated summer temperatures and reduced pH on metabolism and growth of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on unlimited ration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *53*(12), 2752-2763. <https://doi.org/10.1139/f96-232>
- Edsall, T. A., & Cleland, J. (2000). Optimum Temperature for Growth and Preferred Temperatures of Age-0 Lake Trout. *North American Journal of Fisheries Management*, *20*(3), 804-809. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(2000\)020<0804:OTFGAP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(2000)020<0804:OTFGAP>2.3.CO;2)
- Eya, J. C., Yossa, R., Perera, D., Okubajo, O., & Gannam, A. (2017). Combined effects of diets and temperature on mitochondrial function, growth and nutrient efficiency in rainbow trout

- (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 212, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2017.06.010>
- FAO. (1984). *Segunda reunión del Comité Asesor del Centro Regional Latinoamericano de Acuicultura*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/AC187S/AC187S18.htm>
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2014). *Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2016). *FAO Fisheries & Aquaculture—Programa de información de especies acuáticas—*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>
- FAO. (2021a). *Fisheries and Aquaculture Information, Statistical Query Results*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_4734023805081080762.xml&outtype=html
- FAO. (2021b). *Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2016. (F. online, Ed.) FishstatJ*. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>

- Farghally, H. M., Atia, D. M., El-madany, H. T., & Fahmy, F. H. (2014). Control methodologies based on geothermal recirculating aquaculture system. *Energy*, *78*, 826-833.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.077>
- Feest, P., Briceño, F., & Gutiérrez, L. (2020). *Calidad de agua*.
- Feria, M., Castañeda, A., Toledo, O., Castillo, D., Cueva, M., & Cedeño, V. (2019). Caracterización molecular ómica de una cepa de *Bacillus amyloliquefaciens* aislada de la microbiota del paiche *Arapaima gigas* con actividad antagonista contra bacterias patógenas de peces. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, *30*(2), 908-922.
<https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15407>
- Figueroa, J. L. A., Soto, H. R., Lastiri, L. H., & Verduzco, R. C. (1997). Evaluación del crecimiento, factor de conversión de alimento y calidad del agua del cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema cerrado. *HIDROBIOLÓGICA*, *6*(1, 2), 59-65.
- FONAG. (2021). *Datos Estaciones Telemétricas*. <http://sedc.fonag.org.ec/telemetria/visualizar/>
- García, R., Gutiérrez, L., & Rb, C. (2015). El uso de los probióticos en la industria acuícola. Artículo de revisión. *Alimentos Hoy*, *23*(36), 165-178.
- Glencross, B. D. (2009). Reduced water oxygen levels affect maximal feed intake, but not protein or energy utilization efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, *15*(1), 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00562.x>
- Gobierno Parroquial de Papallacta. (2015). *Actualización "plan de desarrollo y ordenamiento territorial gobierno autónomo descentralizado parroquial de papallacta"*.
<https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-PARROQUIA-PAPALLACTA-2015-2019.pdf>
- González, S., Solís, P., Requejo, J., & Ayala, O. (2014). *Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. 88.

- Google Maps. (s. f.). *Mapa del Centro de investigaciones Acuícolas-CENIAC en Google maps*. Recuperado 5 de enero de 2021, de <https://goo.gl/maps/Shi5tt6ZW5UbfLXB8>
- Guo, G., Wang, Y., Hao, T., Wu, D., & Chen, G.-H. (2018). Enzymatic nitrous oxide emissions from wastewater treatment. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1021-3>
- Gutierrez, N. (2014). *Calidad del agua en la acuicultura*. Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-acuicola-y-pesquero-e-inocuidad/519>
- Gutiérrez, X., Aguilera, A., Espinosa, C., & Aatland, A. (2015). Calidad de agua en la producción de smolt. *SalmonExpert*.
- Hamidzadeh, N., Simaeetabar, S., Handjani, F., Ranjbar, S., Moghadam, M. G., & Parvizi, M. M. (2017). Composition of minerals and trace elements at Mamasani thermal source: A possible preventive treatment for some skin diseases. *Journal of Education and Health Promotion*, 6. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_100_17
- Hargreaves, J. A. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166(3-4), 181-212. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00298-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00298-1)
- Hepher, B., Palacios, Martínez, R., & Ortega, Salas, A. (1993). *Nutrición de peces comerciales en estanques*. Limusa.
- Herrmann, R. B., Warren, C. E., & Doudoroff, P. (1962). Influence of Oxygen Concentration on the Growth of Juvenile Coho Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 91(2), 155-167. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1962\)91\[155:IOOCOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1962)91[155:IOOCOT]2.0.CO;2)
- Hokanson, K. E. F., Kleiner, C. F., & Thorslund, T. W. (1977). Effects of Constant Temperatures and Diel Temperature Fluctuations on Specific Growth and Mortality Rates and Yield of Juvenile Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34(5), 639-648. <https://doi.org/10.1139/f77-100>

Imaki, A. (2003). Manual de manejo y crianza de trucha arco iris. En *MANUAL DE MANEJO Y CRIANZA DE TRUCHA ARCO IRIS*. Japan International Cooperation Agency (JICA).

Jacobsen, O. J. (1977). Brown trout (*Salmo trutta* L.) growth at reduced pH. *Aquaculture*, 11(1), 81-84. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90156-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(77)90156-9)

Jacumar & Secretaría Nacional del mar. (2015). *Trucha arcoíris*. Wordpress.

<https://divinainfantitaguadix.files.wordpress.com/2015/03/trucha.pdf>

Janampa, P., Sandoval, N., Bueno, H., & Manchego, A. (2011). *Caracterización de lesiones anatómicas de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) y de los parámetros de calidad de agua durante el ciclo de lluvias del periodo 2011-2012 en una piscigranja del Valla del Mantaro*.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42161656/CARACTERIZACION_DE_LESIONES_ANATOMICAS_D20160205-30278-1crd6jg.pdf?1454703844=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCARACTERIZACION_DE_LESIONES_ANATOMICAS_D.pdf&Expires=1630024873&Signature=ZuxthSxLFgtZ3XtVpT6mSNrTaLcQoTjJMw19mdoiDWbv4XZ4qadF-

Hvvnv~ieKfPvUL~Gj~JlzUSP91JrNe4wNvQ1QjNb0UrLkX~uyfLs2k8VWLVfNQI09Bisq2RX2f9Q~wQGhqPzHVoPTNTpe~KguqqB4ZYCNsKkw~ODx8Y3jdn9F8Is9MR8qmL~uLwBa76O2A~I~P6cuufrvCGXib43PD5itayUvmujqjFDTyluByrmk8t~T8Pp4Yw3TpgZ5dtSgdiX5Vf-hnhTtME38YLWR-

T13406D5sGNRrRSUnd2sksQ4~IXoC4Q252hRbEcj8cF6hfaaJK2e9XBIToZCHbA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Jellyman, P., Booker, D., Crow, S., Bonnett, M., & Jellyman, D. (2013). Does one size fit all? An evaluation of length–weight relationships for New Zealand’s freshwater fish species.

New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 47(4), 450-468.

<https://doi.org/10.1080/00288330.2013.781510>

Jiménez, P. A. (2018). *Diagnóstico de la presencia y contaminación por arsénico en el suelo y agua de consumo en la parroquia Papallacta* [Escuela Politecnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19760/1/CD-9167.pdf>

Jobling, M. (1997). Temperature and growth: Modulation of growth rate via temperature change. En C. M. Wood & D. G. McDonald (Eds.), *Global Warming* (pp. 225-254).

Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511983375.010>

Jobling, M., Meløy, O. H., dos Santos, J., & Christiansen, B. (1994). The compensatory growth response of the Atlantic cod: Effects of nutritional history. *Aquaculture International*, 2(2), 75-90. <https://doi.org/10.1007/BF00128802>

Jonsson, B., & Jonsson, N. (2011). *Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1189-1>

Kovács, Á. T. (2019). *Bacillus subtilis*. *Trends in Microbiology*, 27(8), 724-725.

<https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.03.008>

Kuska, M. H., DeGroot, C. T., & Siddiqui, K. (2020). Investigation of geothermal energy utilization for thermal regulation of aquaculture raceway. *International Journal of Green Energy*, 17(9), 540-553. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1763357>

Labrador, L., Mingoies, C., Jaque, F., Haro-González, P., Bazin, H., Zwier, J. M., Jaque, D., & Hildebrandt, N. (2020). PH dependence of water anomaly temperature investigated by Eu(III) cryptate luminescence. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412(1), 73-80.

<https://doi.org/10.1007/s00216-019-02215-0>

Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004>

- Magoulick, D. D., & Wilzbach, M. A. (1998). *Effect of Temperature and Macrohabitat on Interspecific Aggression, Foraging Success, and Growth of Brook Trout and Rainbow Trout Pairs in Laboratory Streams*. 11.
- Maj, A., Dziewit, L., Drewniak, L., Garstka, M., Krucon, T., Piatkowska, K., Gieczewska, K., Czarnecki, J., Furmanczyk, E., Lasek, R., Baj, J., & Bartosik, D. (2020). In vivo creation of plasmid pCRT01 and its use for the construction of carotenoid-producing *Paracoccus* spp. Strains that grow efficiently on industrial wastes. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01396-z>
- Malca, M. R. (2015). *Estudio de la calidad físico-química y mineromedicinal del agua termal de los Baños del Inca*. 6.
- Masser, M., Rakocy, J., & Losordo, T. (1999). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. *SRAC*, 12.
- McCormick, S., & Saunders, R. (1987). Preparatory Physiological Adaptations for Marine Life of Salmonids: Osmoregulation, Growth, and Metabolism. *American Fisheries Society Symposium*, 19.
- Mckay, L. R., & Gjerde, B. (1985). *The effect of salinity on growth of rainbow trout*. 7.
- Meka, J. M., & McCormick, S. D. (2005). Physiological response of wild rainbow trout to angling: Impact of angling duration, fish size, body condition, and temperature. *Fisheries Research*, 72(2-3), 311-322. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.10.006>
- Miraj, A., Supatrim, P., Bhattacharya, S., & Chakraborty, K. (2017). *Observation on the TDS and EC Values of Different Water Bodies at Cooch Behar, West Bengal, India*.
- Murillo, L. B., Aranibar, M. J., Huanca, B. R., & Huanca, F. H. (2016). Determinación de índices productivos de truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentadas con dietas orgánicas

en fase de engorde. *Revista de Ciencia Animal*, 1(2), Article 2.

<http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/animal/article/view/572>

Naseri, S., Khara, H., & Shakoori, M. (2013). Effects of probiotics and Fe ion on the growth and survival and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) fry. *Journal of Applied Animal Research*, 41(3), 318-325.

<https://doi.org/10.1080/09712119.2013.782871>

NatGeo. (2010, septiembre 5). *Trucha arcoíris*. National Geographic.

<https://www.nationalgeographic.es/animales/trucha-arcoiris>

NCBI. (2021). *Bacillus subtilis* (ID 665)—Genome—NCBI. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome?term=txid1423%5Borgn%5D>

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. (s. f.). 40.

Novozymes. (2020). *FreshPlus*. 1.

NTE-INEN-2169: 2013 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

(2013). <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf?x42051>

Ortiz, J. (2015). *Acuicultura*.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10164/3/Acuicultura.pdf>

Ortíz, M. (2019). *Biodiversidad microbiana en aguas termales de Papallacta: Aplicaciones Biotecnológicas*. [Universidad Central del Ecuador].

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19012/1/T-UCE-0012-FIG-118.pdf>

Parrado, Y. (2016). Historia de la Acuicultura en Colombia. *Revista AquaTIC*, 0(37), Article 37.

<http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/146>

- Pérez, Á. A., Bejarano, J. B., & Barragán, J. J. (2013). *Construcción de un Sistema de Instrumentación para la Medición de la Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto presentes en la Piscicultura bajo Condiciones de Estanque Artificial*. 18(2), 9.
- Ragnarsson, Á. (2014). *GEOTHERMAL ENERGY IN AQUACULTURE*. 5.
- Réalís, E., Pasquet, A., De Charleroy, D., Fontaine, P., & Teletchea, F. (2016). Strong Effects of Temperature on the Early Life Stages of a Cold Stenothermal Fish Species, Brown Trout (*Salmo trutta* L.). *PLOS ONE*, 11(5), e0155487.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155487>
- Redding, J. M., Schreck, C. B., & Everest, F. H. (1987). Physiological Effects on Coho Salmon and Steelhead of Exposure to Suspended Solids. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116(5), 737-744. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1987\)116<737:PEOCSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1987)116<737:PEOCSA>2.0.CO;2)
- Ringø, E. (2020). Probiotics in shellfish aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 5(1), 1-27.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.12.001>
- Ringø, E., Myklebust, R., Mayhew, T. M., & Olsen, R. E. (2007). Bacterial translocation and pathogenesis in the digestive tract of larvae and fry. *Aquaculture*, 268(1-4), 251-264.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.047>
- Ringø, E., Olsen, R. E., Gifstad, T. Ø., Dalmo, R. A., Amlund, H., Hemre, G.-I., & Bakke, A. M. (2010). Prebiotics in aquaculture: A review. *Aquaculture Nutrition*, 16(2), 117-136.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00731.x>
- Rivas, E. (2010). *Manual de alimento balanceado para truchas*. PRODUCE.
- Robinson, M. L., Gomez, L., Rauw, W. M., & Peacock, M. M. (2008). Fulton's body condition factor K correlates with survival time in a thermal challenge experiment in juvenile

- Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*). *Journal of Thermal Biology*, 33(6), 363-368. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.05.004>
- Rondon, L., Añez, M., Salvatierra, A., Meneses, R., & Heredia, M. (2015). Probióticos: Generalidades. *Archivos Venezolanos de Puericultura y Pediatría*, 78(4), 123-128.
- Ruiz, A., Tapia, R., García, J., & González, H. (2006). Evaluación de un cultivo semi-Intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. *REDVET*, 11. <http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/102/4/110622.pdf>
- Salamanca, D. (2020). *Inducción a la maduración sexual y desove de *Oncorhynchus mykiss* "trucha arcoíris" por fotoperiodo en el CIPBS - Chucuito, Una Puno* [Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13395/Salamanca_Cansaya_Da_rwin_Isacc.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sano, K. (2000). *Water Quality and Habitat Management*. Watersphere Environmental Engineering CO.L.T.D.
- Schrezenmeir, J., & De Vrese, M. (2001). Probiotics, prebiotics, and synbiotics—Approaching a definition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(2), 361s-364s. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.361s>
- Shvartsev, S. L., Sun, Z., Borzenko, S. V., Gao, B., Tokarenko, O. G., & Zippa, E. V. (2018). Geochemistry of the thermal waters in Jiangxi Province, China. *Applied Geochemistry*, 96, 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.06.010>
- Sladonja, B. (2011). *Aquaculture and the Environment: A Shared Destiny*. BoD – Books on Demand.

- Slaninova, A., Machova, J., & Svobodova, Z. (2014). Fish kill caused by aluminium and iron contamination in a natural pond used for fish rearing: A case report. *Veterinární Medicína*, 59(11), 573-581. <https://doi.org/10.17221/7821-VETMED>
- Smith, G., & Stearley, R. (1989). *The Classification and Scientific Names of Rainbow and Cutthroat Trouts*. 8. [http://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1577/1548-8446\(1989\)014%3C0004:TCASNO%3E2.0.CO;2](http://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1577/1548-8446(1989)014%3C0004:TCASNO%3E2.0.CO;2)
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179-196. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)
- Sorroza, L., Padilla, D., Acosta, F., Román, L., Acosta, B., & Real, F. (2009). *Uso de probióticos en Acuicultura*. 4.
- Steinbach, G. (2003). *Peces de agua dulce: Como reconocerlos y determinarlos* (ES). Blume.
- Svecevičius, G., Šyvokienė, J., Stasiūnaitė, P., & Mickėnienė, L. (2005). Acute and Chronic Toxicity of Chlorine Dioxide (ClO₂) and Chlorite (ClO₂⁻) to Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) (4 pp). *Environmental Science and Pollution Research - International*, 12(5), 302-305. <https://doi.org/10.1065/espr2005.04.248>
- ŚwiĄtek, L. (2020). A case study of geothermal resources use for the innovative aquaculture from perspective of syntropic development concept. *International Journal of Energy Production and Management*, 5(1), 60-69. <https://doi.org/10.2495/EQ-V5-N1-60-69>
- Sylvester, J. R. (1975). Biological considerations on the use of thermal effluents for finfish aquaculture. *Aquaculture*, 6(1), TORR. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(75\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(75)90085-X)
- Torres, A., Tovar, M., Hurtado, H., & Gómez, E. (2015). *Total ammonia nitrogen excretion at different *Cyprinus carpio* sowing densities in laboratory conditions*. 19(1), 8.

- Tran-Duy, A., Schrama, J. W., Van Dam, A. A., & Verreth, J. A. J. (2008). Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 275(1-4), 152-162.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.024>
- Trelles, A. M., Gil, A., Chumbe, R. E., Alva, A. V., Guzmán, H., & Barboza, M. E. (2019). *Conversión y eficiencia alimenticia de Oreochromis aureus var. Suprema (Cichlidae) con diferente alimento balanceado en sistema cerrado, Trujillo, La Libertad, Perú*. 12.
<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26219>
- UNINET. (1989). *Acuerdo por el que se establecen Los Criterios Ecológicos de Calidad Del Agua CE-CCA-001/89*. <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf>
- Uzokwu, P. U. (2013). *Water Quality Management in Warm Water Fish Ponds: A Systems Approach*.
- 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. *Rev Soc Quím Perú.*, 14.
- Venegas, P., Sobenes, C. del P., & Ortiz, C. (2008). Efecto de Tiempos de Retención Hidráulico de Agua, en un Sistema de Cultivo Experimental de un Paso para Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). *Información tecnológica*, 19(6). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000600008>
- Wedemeyer, G. (1996). *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*. Springer Science & Business Media.
- Wood, C. M., & McDonald, D. G. (1997). *Global Warming: Implications for Freshwater and Marine Fish*. Cambridge University Press.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=MLImJSRUY50C&oi=fnd&pg=PR15&dq=GI>

obal+Warming:+Implications+for+Freshwater+and+Marine+Fish&ots=a2FyqlcF1z&sig=o
 Jio9JKOMFyg9cFX_Mc5pbEecJo#v=onepage&q=Global%20Warming%3A%20Implications
 %20for%20Freshwater%20and%20Marine%20Fish&f=false

Wurts, W., & Durborow, R. (1992). *Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds*. 4.

Yee, W. C. (1972). Thermal aquaculture. Engineering and economics. *Environmental Science & Technology*, 6(3), 232-237. <https://doi.org/10.1021/es60062a012>

Yin, L., Chen, L., Wang, M., Li, H., & Yu, X. (2021). An acute increase in water temperature can decrease the swimming performance and energy utilization efficiency in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 47(1), 109-120. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00897-3>

Zdanovich, V. V., Pushkar', V. Ya., & Kelekhsaev, M. Z. (2011). Specific features of growth and energetics of juvenile rainbow trout *Parasalmo* (*Oncorhynchus*) *mykiss* at constant temperature and its short-time periodic deviations into the upper suboptimal zone. *Journal of Ichthyology*, 51(7), 528-535. <https://doi.org/10.1134/S0032945211030155>

Zhou, X., & Wang, Y. (2012). Probiotics in Aquaculture—Benefits to the Health, Technological Applications and Safety. En E. Carvalho (Ed.), *Health and Environment in Aquaculture*. InTech. <https://doi.org/10.5772/29037>

<https://drive.google.com/file/d/1qybS2LW5fYWxQOrfWDpa6HHC7qPXuqwY/view?usp=sharing>