



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE
LA AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: VALORACIÓN DE ADITIVOS ALIMENTICIOS PARA
LA ESTIMULACIÓN DEL APETITO EN TRUCHA ARCO IRIS
(*Oncorhynchus mykiss*) EN ETAPA DE ENGORDE**

AUTOR: MOLINA CÁRDENAS, JEFFERSON RAÚL

DIRECTOR: ORTIZ TIRADO, JUAN CRISTÓBAL

SANGOLQUÍ

2017



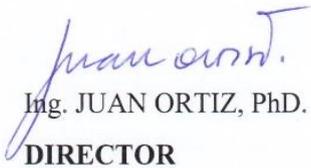
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“VALORACIÓN DE ADITIVOS ALIMENTICIOS PARA LA ESTIMULACIÓN DEL APETITO EN TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN ETAPA DE ENGORDE”* realizado por el señor *JEFFERSON RAÚL MOLINA CÁRDENAS*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor *JEFFERSON RAÚL MOLINA CÁRDENAS* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 20 de septiembre de 2017

Atentamente,


Ing. JUAN ORTIZ, PhD.
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JEFFERSON RAÚL MOLINA CÁRDENAS**, con cédula de ciudadanía N° 1719680439, declaro que este trabajo de titulación “**VALORACIÓN DE ADITIVOS ALIMENTICIOS PARA LA ESTIMULACIÓN DEL APETITO EN TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN ETAPA DE ENGORDE**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 20 de septiembre de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jefferson', is written over a horizontal dotted line.

JEFFERSON RAÚL MOLINA CÁRDENAS

C.C. 1719680439



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, *JEFFERSON RAÚL MOLINA CÁRDENAS*, con cédula de ciudadanía N° 1719680439, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**VALORACIÓN DE ADITIVOS ALIMENTICIOS PARA LA ESTIMULACIÓN DEL APETITO EN TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN ETAPA DE ENGORDE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 20 de septiembre de 2017

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Jefferson', is positioned above a dotted line.

JEFFERSON RAÚL MOLINA CÁRDENAS

C.C. 1719680439

DEDICATORIA

A mis padres Mariana y Raúl.

A mis hermanos Ivón y Santiago.

A mi sobrina Camila.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su apoyo incondicional en todo momento.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y sus maestros, quienes me transmitieron sus conocimientos y fueron una guía en mi vida estudiantil.

Al Dr. Juan Ortiz Tirado, por sus valiosas enseñanzas.

A la Ing. Daysi Muñoz Sevilla por su ayuda y consejos.

A la empresa FARBIOPHARMA S.A. y su coordinadora de investigación, la Dra. Sofía Gómez, por las facilidades y colaboración brindada para el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL).....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 El Problema	3
1.2.1 Los Efectos	3
1.2.2 Las Causas	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Hipótesis.....	4

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Generalidades	5
2.2 Descripción taxonómica	6
2.3 Hábitat y biología	6
2.4 Morfología.....	7
2.5 Hábitos alimenticios	8
2.6 Sistemas de producción	9
2.6.1 Técnicas de engorda	10
2.7 Alimentación	10

2.7.1	Proceso de ingesta	12
2.7.2	Gasto energético de la especie	13
2.7.3	Transformación energética	14
2.7.4	Suministro de alimento balanceado.....	15
2.8	Gusto y estímulos olfativos	16
2.8.1	Quimiorrecepción.....	16
2.9	Aditivos alimenticios.....	17
2.9.1	Espirulina	18
2.9.2	Betaína.....	19
2.9.3	Buclizina.....	19
2.10	Análisis hematológicos	20
2.10.1	Hematocrito	20
2.10.2	Conteo de glóbulos rojos.....	21
2.10.3	Contenido de albúmina en la sangre	21
2.10.4	Contenido de glucosa en la sangre	22
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA		23
3.1	Ubicación del lugar de investigación	23
3.1.1	Ubicación política	23
3.1.2	Ubicación geográfica.....	23
3.1.3	Ubicación ecológica	24
3.2	Materiales	24
3.2.1	Biológicos.....	24
3.2.2	Insumos de campo	24
3.2.3	Equipos.....	24
3.2.4	Insumos de laboratorio	24
3.2.5	Reactivos	25
3.3	Métodos	25
3.3.1	Fase de campo	25
3.3.1.1	Aclimatación y cuidado de animales.....	25
3.3.1.2	Muestreo de animales.....	26
3.3.1.3	Evaluación de la capacidad de ingesta	26

3.3.1.4 Evaluación de la eficiencia alimenticia	27
3.3.2 Fase de laboratorio	28
3.3.2.1 Elaboración del alimento.....	28
3.3.2.2 Prueba de estabilidad del alimento.....	28
3.3.2.3 Prueba de toxicidad de los aditivos en el modelo biológico <i>Artemia salina</i> ..	29
3.3.2.4 Extracción de sangre	30
3.3.2.5 Evaluación de la concentración de albumina	30
3.3.2.6 Evaluación de la concentración de glucosa.....	30
3.3.2.7 Hematocrito	31
3.3.2.8 Conteo de glóbulos rojos.....	31
3.3.2.9 Histología	31
3.3.3 Diseño experimental.....	32
3.3.3.1 Factores	32
3.3.3.2 Tratamientos a comparar.....	32
3.3.3.3 Tipo de diseño experimental.....	33
3.3.3.4 Repeticiones	33
3.3.3.5 Características de las Unidades Experimentales.....	33
3.3.3.6 Croquis del diseño.....	33
3.3.4 Variables del estudio	34
3.3.4.1 Variables morfométricas	34
3.3.4.2 Variables productivas	34
3.3.4.3 Variables hematológicas	35
3.3.5 Análisis estadístico.....	35
3.3.5.1 Esquema de análisis de varianza	35
3.3.5.2 Coeficiente de variación.....	35
3.3.6 Análisis económico	35
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 Resultados	36
4.1.1 Prueba de estabilidad del alimento.....	36
4.1.2 Prueba de toxicidad de aditivos mediante el modelo biológico de <i>Artemia salina</i>	37

4.1.2.1 Biotoxicidad de buclizina	37
4.1.2.2 Biotoxicidad de betaína	37
4.1.2.3 Biotoxicidad de espirulina.....	38
4.1.3 Prueba de capacidad de consumo de alimento	39
4.1.4 Variables morfométricas	40
4.1.4.1 Peso corporal	40
4.1.4.2 Longitud corporal total	41
4.1.4.3 Longitud corporal parcial	42
4.1.4.4 Ancho corporal total	44
4.1.5 Variables productivas	45
4.1.5.1 Índice de condición corporal	45
4.1.5.2 Tasa de crecimiento específica.....	47
4.1.5.3 Factor de conversión alimenticia.....	49
4.1.5.4 Eficiencia alimenticia	50
4.1.6 Variables hematológicas	51
4.1.6.1 Hematocrito	51
4.1.6.2 Conteo de glóbulos rojos.....	52
4.1.6.3 Contenido de albumina en la sangre	53
4.1.6.4 Contenido de glucosa en la sangre	54
4.1.7 Análisis estadístico complementario	55
4.1.7.1 Peso del T ₀ y T ₂	56
4.1.7.2 Longitud total	57
4.1.7.3 Longitud parcial del T ₀ y T ₂	57
4.1.7.4 Ancho del T ₀ y T ₂	58
4.1.7.5 Tasa de crecimiento específica del T ₀ y T ₂	59
4.1.8 Análisis económico	60
4.1.9 Histología	64
4.2. Discusión.....	65
4.2.1 Prueba de estabilidad del alimento.....	65
4.2.2 Prueba de toxicidad de aditivos con el modelo biológico <i>Artemia salina</i>	66
4.2.3 Prueba de capacidad de consumo de alimento	67
4.2.4 Variables morfométricas	67

4.2.5	Variables productivas	68
4.2.6	Variables hematológicas	69
4.2.7	Histología	70
4.2.8	Análisis económico	71

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 72

5.1	Conclusiones	72
5.2	Recomendaciones	72
5.3	Bibliografía.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros físicos y químicos del agua para producción comercial de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	9
Tabla 2	Requerimientos nutricionales de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) para etapa de engorde.	11
Tabla 3	Tratamientos suministrados a peces de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) en etapa de engorde	32
Tabla 4	Análisis de varianza para el diseño experimental del estudio.....	35
Tabla 5	Análisis de varianza para la estabilidad del alimento	36
Tabla 6	Análisis de la varianza para la capacidad de consumo de alimento.....	39
Tabla 7	Análisis de la varianza para el peso corporal	40
Tabla 8	Promedio \pm error estándar del peso corporal (g).....	40
Tabla 9	Análisis de la varianza para la longitud corporal total.....	41
Tabla 10	Promedio \pm error estándar de la longitud corporal total	42
Tabla 11	Análisis de la varianza para la longitud corporal parcial	43
Tabla 12	Promedio \pm error estándar de la longitud corporal total	43
Tabla 13	Análisis de la varianza para el ancho corporal total.....	44
Tabla 14	Promedio \pm error estándar del ancho corporal total (cm)	45
Tabla 15	Análisis de la varianza para el índice de condición corporal	46
Tabla 16	Promedio \pm error estándar del índice de condición corporal	46
Tabla 17	Análisis de la varianza para la tasa de crecimiento específica.....	47
Tabla 18	Promedio \pm error estándar de la tasa de crecimiento específica (%)	48
Tabla 19	Análisis de la varianza para el factor de conversión alimenticia	49
Tabla 20	Promedio \pm error estándar del factor de conversión alimenticia	49
Tabla 21	Análisis de la varianza para la eficiencia alimenticia	50
Tabla 22	Promedio \pm error estándar de la eficiencia alimenticia (%).....	51
Tabla 23	Análisis de la varianza para hematocrito	52
Tabla 24	Análisis de la varianza para conteo de glóbulos rojos	53
Tabla 25	Análisis de la varianza para contenido de albumina en la sangre	54
Tabla 26	Análisis de la varianza para contenido de glucosa en la sangre.....	55
Tabla 27	Análisis de la varianza para el peso de los tratamientos T ₀ y T ₂	56
Tabla 28	Promedio \pm error estándar del peso (g) de los tratamientos T ₀ y T ₂	56

Tabla 29	Análisis de la varianza para la longitud total de los tratamientos T ₀ y T ₂	57
Tabla 30	Promedio \pm error estándar de la longitud total (cm) de los tratamientos T ₀ y T ₂	57
Tabla 31	Análisis de la varianza para la longitud parcial de los tratamientos T ₀ y T ₂	58
Tabla 32	Promedio \pm error estándar de la longitud total (cm) de los tratamientos T ₀ y T ₂	58
Tabla 33	Análisis de la varianza para el ancho de los tratamientos T ₀ y T ₂	58
Tabla 34	Promedio \pm error estándar del ancho (cm) del tratamiento T ₀ y T ₂	59
Tabla 35	Análisis de la varianza para la tasa de crecimiento específica de los tratamientos T ₀ y T ₂	59
Tabla 36	Promedio \pm error estándar de la tasa de crecimiento específica (cm) del tratamiento T ₀ y T ₂	60
Tabla 37	Inversiones para el proyecto (\$).....	60
Tabla 38	Costos operativos del proyecto (\$)	61
Tabla 39	Ingresos percibidos en el proyecto (\$)	61
Tabla 40	Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T ₀	62
Tabla 41	Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T ₁	62
Tabla 42	Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T ₂	63
Tabla 43	Flujo de caja del proeycto con el tratamiento T ₃	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Anatomía externa de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) adulta.....	7
Figura 2 Anatomía externa de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) adulta.....	8
Figura 3 Pérdidas energéticas en la alimentación de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	14
Figura 4 Vista panorámica del lugar de investigación.....	23
Figura 5 Esquema de evaluación de capacidad de ingesta.....	27
Figura 6 Proceso para medición de variables morfométricas	27
Figura 7 Proceso para adición de tratamientos a la dieta comercial	28
Figura 8 Prueba de biotoxicidad con Artemia salina	29
Figura 9 Proceso para lectura de hematocrito	31
Figura 10 Proceso para conteo de glóbulos rojos.....	31
Figura 11 Toma de muestras para histología	32
Figura 12 Dimensiones de la jaula empleada como unidad experimental	33
Figura 13 Croquis del diseño experimental	33
Figura 14 Promedio \pm error estándar de la capacidad de retención de materia seca .	36
Figura 15 Modelo ajustado para la mortalidad en el ensayo de biotoxicidad de buclizina.	37
Figura 16 Modelo ajustado para la mortalidad en el ensayo de biotoxicidad de betaína.....	38
Figura 17 Modelo ajustado para la mortalidad en el ensayo de biotoxicidad de espirulina	38
Figura 18 Promedio \pm error estándar de la tasa de consumo de alimento.....	39
Figura 19 Promedio \pm error estándar del peso corporal.....	41
Figura 20 Promedio \pm error estándar de la longitud corporal total	42
Figura 21 Promedio \pm error estándar de la longitud corporal parcial	44
Figura 22 Promedio \pm error estándar del ancho corporal total.....	45
Figura 23 Promedio \pm error estándar del índice de condición corporal.....	47
Figura 24 Promedio \pm error estándar de la tasa de crecimiento específico.....	48
Figura 25 Promedio \pm error estándar del factor de conversión alimenticia	50
Figura 26 Promedio \pm error estándar de la eficiencia alimenticia	51
Figura 27 Promedio \pm error estándar del porcentaje de hematocrito	52

Figura 28 Promedio \pm error estándar del conteo de glóbulos rojos	53
Figura 29 Promedio \pm error estándar del contenido de albumina en la sangre.....	54
Figura 30 Promedio \pm error estándar del contenido de glucosa en la sangre.....	55
Figura 31 Tejido hepático de trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) bajo el efecto de aditivos alimenticios	65

RESUMEN

Durante la crianza de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es fundamental el control de la alimentación, porque influye en el crecimiento y rentabilidad de los proyectos piscícolas. Pero existe pérdidas generadas por la baja palatabilidad de las fuentes de proteína de origen vegetal, por lo cual en la presente investigación se valoró aditivos orgánicos y sintéticos para mejorar el apetito de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde. El estudio se desarrolló con 600 animales en total, con masas corporales iniciales (peso) de 66.23 ± 2.42 g divididos en 12 unidades experimentales. Se les suministro diariamente balanceado con inclusiones de espirulina (0.05 %), betaína (0.05 %) y buclizina (0.002 %), además de considerar un control (balanceado comercial). Bajo esta condición se evaluó la capacidad de ingesta, variables morfométricas y productivas cada 10 días, durante un periodo total de 60 días. Al final del ensayo se midió variables hematológicas y se realizó cortes histológicos del hígado. El mejor resultado para peso se obtuvo con el tratamiento buclizina a los 60 días con 124.07 ± 3.62 g, ancho de 4.85 ± 0.09 cm, seguido de betaína y espirulina con 118.47 ± 5.12 g y 116.17 ± 3.84 g respectivamente. Para las demás variables no existieron diferencias significativas durante el estudio. El uso de aditivos alimenticios orgánicos y sintéticos mejoró la eficiencia de dietas balanceadas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*); incrementando la ganancia de peso en 6.55 % y ancho corporal final en 15.46 %.

PALABRAS CLAVE

- **TRUCHA ARCO IRIS**
- **ADITIVOS ALIMENTICIOS**
- **EFICIENCIA ALIMENTICIA**
- **TASA DE CONSUMO**

ABSTRACT

During the rearing of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), feeding control is essential because it influences the growth and profitability of fish farming projects. However, there are losses generated by the low palatability of vegetable sources of protein, so organic and synthetic additives were evaluated in the present research to improve the appetite of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the fattening stage. The study was performed with 600 animals in total, with initial body masses (weight) of 66.23 ± 2.42 g divided into 12 experimental units. They were given daily balanced with inclusions of spirulina (0.05%), betaine (0.05%) and buclizine (0.002%), in addition to considering a control (commercial balance). Under this condition was evaluated the capacity of intake, morphometric and productive variables every 10 days, during a total period of 60 days. At the end of the trial, hematological variables were measured and histological sections of the liver were made. The best result for weight was obtained with buclizine treatment at 60 days with 124.07 ± 3.62 g, width of 4.85 ± 0.09 cm, followed by betaine and spirulina with 118.47 ± 5.12 g and 116.17 ± 3.84 g respectively. For the other variables, there were no significant differences during the study. The use of organic and synthetic food additives improved the efficiency of balanced diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*); Increasing weight gain by 6.55 % and final body width by 15.46 %.

KEYWORDS

- **RAINBOW TROUT**
- **FOOD ADDITIVES**
- **FOOD EFFICIENCY**
- **CONSUMPTION RATE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) inicia en el Ecuador en el año 1932, con la introducción de alevines para repoblación en ríos y lagos de la serranía (Meschkat, 1975). En sus inicios se desarrolló de forma extensiva, pero a través del tiempo se ha tecnificado, incrementando los volúmenes de producción de esta especie hasta las 3200 toneladas y valor estimado de 19.2 millones de dólares para el año 2014 (FAO, 2016).

La producción trutícola en el Ecuador se concentra principalmente en la región Sierra, debido a que esta zona cuenta con recursos hídricos adecuados para esta actividad. Los criaderos se distribuyen en diferentes provincias del país como: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Sucumbíos y Tungurahua (Muñoz D. , 2008). En estas provincias la crianza de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es una alternativa de sustento para sus comunidades, especialmente del alto andino, por la fácil adaptación de la especie, resistencia a enfermedades y crecimiento rápido (Molina C. , 2004).

Durante el desarrollo de la actividad trutícola un factor fundamental es la alimentación del pez, empleándose dietas balanceadas que cubren todas sus demandas nutricionales, representando el 60 % del costo total operacional por ciclo de producción. Pero a pesar de la capacidad del alimento para satisfacer los requerimientos nutricionales de la especie, este no siempre es ingerido, debido principalmente al efecto del agua en la solubilidad de los pellets (estabilidad de la dieta), cantidad de atractantes en la dieta balanceada y actividad metabólica de la especie.

Esto genera una pérdida del 10 al 20 % por kilogramo de biomasa seca y por ende una afectación directa a la rentabilidad del proyecto. Bajo estas consideraciones es necesario buscar alternativas para mejorar la eficiencia de las dietas, considerando a los aditivos sintéticos o naturales, los mismos que pueden optimizar la respuesta de consumo de los peces frente al alimento (Galindo, 2007).

Basados en esta problemática la presente investigación analizó el efecto del suministro de aditivos orgánicos y químicos como: espirulina, betaína y buclizina en dietas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde.

Durante el estudio se evaluaron parámetros productivos (conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, ingesta alimenticia, crecimiento, condición corporal); hematológicos (hemograma completo), morfométricos (longitud total, parcial, ancho total, masa corporal).

1.1 Justificación

La truticultura está ampliamente difundida en el país, debido a la adaptación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) a la serranía ecuatoriana. Esto la convierte en una especie de importancia comercial que se explota de forma semi-intensiva, cuidando parámetros sanitarios, nutricionales y ambientales. Junto con estas consideraciones se debe prestar especial atención a la alimentación, por su elevado costo e incidencia directa en el crecimiento del pez, con lo cual se consigue mantener proyectos sostenibles.

El proceso fisiológico ocurrido durante la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) inicia con la detección y localización del pienso, esto ocurre por el estímulo promovido con la solubilidad de componentes químicos de las dietas (piensos) y su quimio recepción por parte del pez. Por lo cual, durante la formulación de dietas acuícolas se considera como factores prioritarios al balance nutricional, disponibilidad de nutrientes, digestibilidad y palatabilidad; actuando en conjunto para generar un estímulo de consumo del nutrimento fuente.

En formulaciones alimenticias con proteínas de origen vegetal disminuye la palatabilidad, por lo cual se requiere mejorar el consumo alimenticio empleando atrayentes (FAO, 2016), como el caso de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) donde se utiliza mezclas de aminoácidos básicos y aromáticos (Castro & Avilia, 1994). El sistema olfatorio de este pez resulta muy eficaz, ya que cuenta con neuronas ciliadas que responden fisiológicamente mejor a la estimulación de los aminoácidos (Toshiaki, 2007). Esta especie tiene la capacidad de detectar 20 aminoácidos porque dispone de receptores olfativos ArgR, CysR y GluR que son activados por sus ligantes principales como: Arginina, Cisteína y Glutamina (Toshiaki, 2007).

Estudios acerca de la capacidad olfativa de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) muestran una gran capacidad de discriminación de estímulos odorantes, detectando concentraciones de 10^{-3} M de L-metionina, L-cisteína, L-treonina, glicina

y otros aminoácidos. Estos se evalúan en tres niveles por vía olfativa que son: el nervio olfatorio, el límite entre el bulbo olfatorio y lóbulo y el lóbulo olfatorio posterior (Satou & Ueda, 1975).

Por otra parte, el paladar de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) presenta papilas gustativas con estructura bulbiforme, las cuales se encuentran en mayor concentración en los dientes; existiendo 30 papilas por mm² mientras que en otras áreas se encuentran entre 8 a 11 papilas por mm². Estas estructuras cuentan con un gran número de fibras nerviosas conectadas en su porción basal (Marui, Evans, Zielinski, & Toshiaki, 1983), dotando al pez de una buena capacidad de detección de sabores.

Basados en los fundamentos expuestos se busca evaluar la capacidad estimulante de aditivos nutricionales orgánicos y químicos como: harina de espirulina, betaína y buclizina sobre el apetito en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Esta información contribuirá en el conocimiento de la nutrición de truchas, su eficiencia alimenticia y por ende la rentabilidad obtenida al final del ciclo productivo.

1.2 El Problema

Los costos operativos en la producción de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) representan el 60 % del costo total de producción, incidiendo en la rentabilidad de proyectos a pequeña y mediana escala.

La eficiencia alimenticia en una producción sostenible está dada por la calidad de nutrientes presentes en la dieta y su estabilidad en el agua, los mismos que deben ser ingeridos de forma adecuada y rápida; evitando la lixiviación y por ende pérdidas en esta actividad. Pero cuando existe lixiviación de nutrientes la eficiencia alimenticia disminuye en el orden del 10 hasta el 20 %, ocasionando una baja rentabilidad en proyectos trutícolas a pequeña y mediana escala.

1.2.1 Los Efectos

Los efectos que ocasiona esta problemática se enfocan en la disminución del ritmo de crecimiento, menor conversión alimenticia y alargue del periodo de engorde de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Esto incrementa los costos productivos ya que la alimentación representa el mayor valor, dificultando la explotación trutícola en el país. Adicional a esto, se generan riesgos ambientales por la pérdida de

alimento en los tanques de peces cultivados, desechando nutrientes en afluentes cercanos.

1.2.2 Las Causas

Las pérdidas en la ingesta de alimento balanceado por parte de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se deben a la estimulación sensorial deficiente, provocada por factores de quimio atracción del balanceado como: baja palatabilidad, mala capacidad de detección y menor contenido nutricional de fuentes de proteína de origen vegetal frente a fuentes de origen animal.

Junto con estos factores es necesario considerar la poca disponibilidad en el mercado de productos que mejoren la tasa de ingesta en peces, dado por la falta de conocimiento acerca de los procesos fisiológicos ocurridos durante la detección y consumo de alimentos balanceados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de tres aditivos alimenticios en dietas balanceadas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) durante la etapa de engorde.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Evaluar la capacidad de ingesta de dietas balanceadas de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), bajo el efecto de tres aditivos alimenticios (tratamientos de espirulina, betaína, buclizina).
- Evaluar la eficiencia alimenticia de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde, bajo el efecto de tres aditivos alimenticios.
- Realizar el análisis financiero según metodologías convencionales descritas por García (1995).

1.4 Hipótesis

H₀: “El uso de aditivos orgánicos e inorgánicos en dietas balanceadas para el engorde de trucha arco iris, mantiene la tasa de eficiencia y consumo de la ración alimenticia”

H₁: “El uso de aditivos orgánicos e inorgánicos en dietas balanceadas para el engorde de trucha arco iris, mejora la tasa de eficiencia alimenticia e incrementa el consumo de la ración alimenticia”

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

La crianza de Salmónidos como trucha es una actividad relevante para la acuicultura mundial en aguas continentales, presentando un incremento significativo en su demanda durante los últimos años (FAO, 2016). Igualmente, en el Ecuador la cría de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se ha difundido gracias a las condiciones ambientales favorables para su cultivo en el alto andino (Muñoz D. , 2008).

Esta especie presenta fácil adaptación, rápido crecimiento y tolerancia a enfermedades, por lo que se ha consolidado como una alternativa para piscícolas en el país (Molina C. , 2004). La producción de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se encuentra distribuida en criaderos de la región Andina y Oriental de Ecuador, concentrándose el 33 % en la provincia de Pichincha y 19 % en Azuay (Ortiz & Muñoz, 2014).

Para la explotación comercial de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se requiere manejar criterios técnicos. Dentro de los más importantes se encuentra la nutrición; porque representa entre el 50 al 60 % de los costos productivos influyendo en la rentabilidad del proyecto (FAO, 2014). Para disminuir las pérdidas relacionadas con la alimentación es necesario conocer el comportamiento alimenticio del pez y junto con técnicas biotecnológicas mejorar las dietas para la especie (Velázquez & Espinosa, 1989).

Durante el proceso de alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) existen estímulos químicos dados por los ingredientes de la dieta. Sin embargo, el uso de materias primas con baja palatabilidad, menor contenido nutricional y poca capacidad de detección ocasionan dificultad en su consumo (Castro & Avilia, 1994). Esto provoca desperdicio del alimento balanceado, menor crecimiento, disminución de la conversión alimenticia y por lo tanto incrementa los costos operativos.

Cuando el alimento suministrado no se consume en su totalidad ocurre un desperdicio del nutrimento provocado por la lixiviación de nutrientes, que es la extracción de los componentes solubles de la dieta y su liberación en afluentes

cercanos. Esto además genera deficiencias nutricionales en los peces por la pérdida de aminoácidos en forma libre o como parte de proteínas, ocasionando síntomas como escoliosis, cataratas y erosión de aletas (Tacon, 1995).

Para mitigar los efectos provocados por la mala capacidad estimulante de dietas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se emplea sustancias químicas de origen sintético o natural, que son conocidas como aditivos alimenticios. Estos mejoran la localización e incrementan el consumo de alimento, optimizando la respuesta de los peces frente al nutrimento (Galindo, 2007).

La mejora en la palatabilidad de dietas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) requiere especial atención, debido a la buena capacidad olfativa y sentido del gusto que posee esta especie. Estos sentidos le permiten discriminar aminoácidos presentes en sustancias químicas de las dietas, por lo cual los aditivos son una alternativa para mejorar la conversión alimenticia y reducir desperdicios (Galindo, 2007). Con su inclusión en dietas para peces se facilita la ingestión y mejora la eficiencia en el consumo, optimizando la rentabilidad de los proyectos.

2.2 Descripción taxonómica

Según Ucros (2009) la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Phylum:	Chordata
Superclase:	Pisces
Clase:	Osteichthyes
Orden:	Salmoniformes
Familia:	Salmonidae
Género:	<i>Oncorhynchus</i>
Especie:	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)
Nombre común:	Trucha arco iris

2.3 Hábitat y biología

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es originaria de Norteamérica, de la zona occidental entre Alaska y México (Rojas, 2005). Existen dos linajes que son: anádromas que viven en agua salada, pero desova en agua dulce. Y linaje de agua dulce, que habita en aguas frías con temperaturas inferiores a los 21°C (FAO, 2005).

Este pez se adapta a diferentes entornos, presentando crecimiento rápido en ríos y lagos con buena calidad de agua y oxigenación (Muñoz D. , 2008).

Generalmente se encuentra en charcos o corrientes moderadas que les permiten esconderse, para lo cual debe existir vegetación sobresaliente como cubierta protectora (Ridolfi, 2006).

La edad de madurez sexual de esta especie varía según la disponibilidad de alimento y temperatura, en promedio se alcanza entre los 3 a 4 años. Las hembras depositan hasta 2000 huevos/kg de peso corporal con diámetro aproximado de 3 a 7 mm (FAO, 2005).

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) habita aguas cristalinas con disponibilidad de oxígeno mínima de 6 ppm, por eso el ambiente ideal para esta especie son los arroyos de regiones montañosas con flujos rápidos de agua y lechos rocosos (De la Oliva, 2011).

2.4 Morfología

Esta especie se caracteriza por tener cuerpo cubierto con finas escamas, posee una forma alargada y fusiforme, la piel es verde oliva, pero varía de acuerdo con el ambiente en el que vive, edad, estado de maduración sexual y otros factores ambientales.

La coloración presenta diferentes tonalidades, con predominio de una franja rojiza sobre la línea lateral. También tiene un gran número de máculas negras en la piel a manera de lunares (Maiz, Valero, & Briceño, 2010).

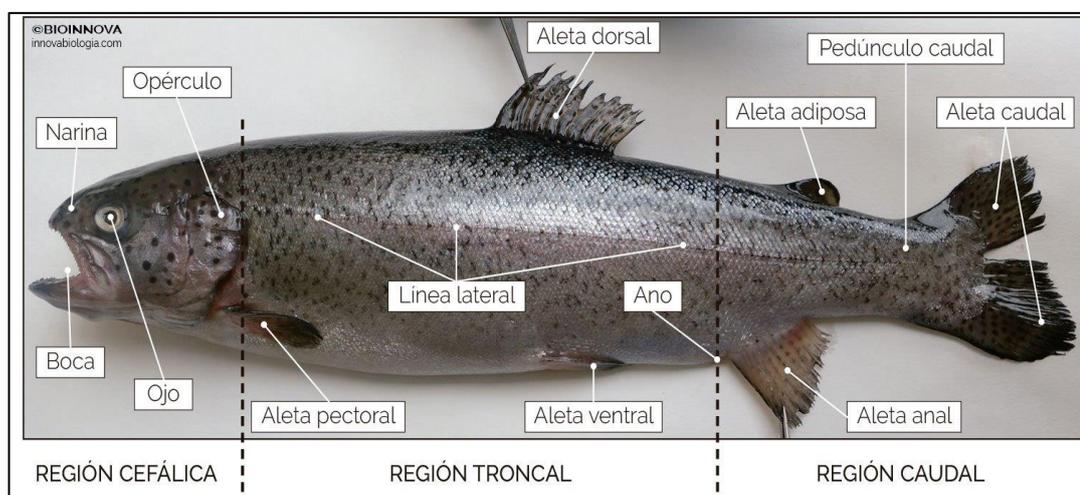


Figura 1 Anatomía externa de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) adulta

Fuente: (Bioinnova, 2016)

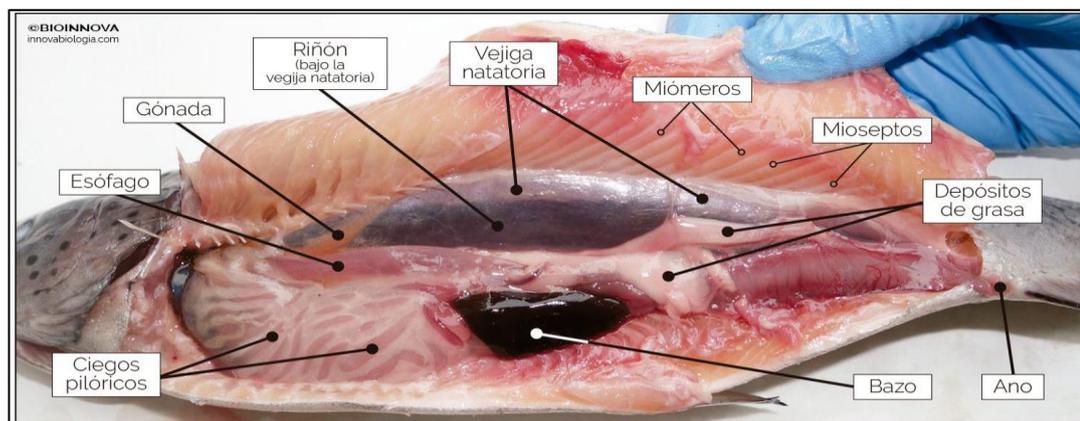


Figura 2 Anatomía externa de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) adulta
Fuente: (Bioinnova, 2016)

El cuerpo posee entre 60 a 66 vertebras, 3 a 4 espinas dorsales y 3 a 4 espinas anales (FAO, 2005). Este pez posee 7 aletas (Figura 1), dos aletas pares, tres impares y pedúnculo caudal, que ayudan durante el nado para estabilización, freno y control de dirección; también existe una aleta adiposa que no presenta función definida (Blanco, 1995). La anatomía interna (Figura 2) de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) está conformada por corazón, hígado, riñón, estomago, bazo, ciego pilórico, vejiga natatoria y uréter (Muñoz D. , 2008).

2.5 Hábitos alimenticios

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es un depredador visual oportunista, con actividad mayoritariamente diurna y comportamiento carnívoro. Tiene preferencia en el consumo de larvas de insectos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Diptera (Bastardo, Infante, & Segnini, 1994). Pero las presas de preferencia cambian según el estado fisiológico del pez; en estado juvenil hay predilección por presas acuáticas mientras que los adultos adicionan a su dieta presas terrestres (Hernández J. , 2015).

Igualmente, en su hábitat natural se alimenta de insectos inmaduros, crustáceos, invertebrados acuáticos y algas (Ridolfi, 2006). El camaroncillo de río (*Gammarus* sp.) es una fuente importante de pigmentos carotenoides en la dieta de la trucha, porque proporciona el color rosáceo característico de la carne (Imaki citado por Muñoz, 2008).

Los hábitos de forrajeo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) muestran que este pez ingiere principalmente algas a la deriva y en menor grado fauna bentónica (Bastardo, Infante, & Segnini, 1994). Su comportamiento alimenticio es influenciado

por la actividad de los insectos y temperatura del agua; ya que es un pez poiquilotermo que interrumpe la ingesta en temperaturas inferiores a 5°C y superiores a 19°C (Hernández J. , 2015).

2.6 Sistemas de producción

Los sistemas acuícolas para producción se clasifican de acuerdo con el nivel de tecnificación, tipo de producción y manejo. Existiendo tres clases que son: intensivo, semi-intensivo y extensivo (Ortiz, 2015).

Para el caso del sistema intensivo la producción se sustenta en la capacidad de mantención del entorno, el sistema semi-intensivo utiliza entornos naturales o artificiales con suplementación alimenticia y el sistema intensivo emplea tecnología que permite elevar el rendimiento por unidad de área (De la Oliva, 2011).

Tabla 1
Parámetros físicos y químicos del agua para
producción comercial de trucha arco iris
(*Oncorhynchus mykiss*)

Parámetro	Nivel óptimo
O ₂ disuelto	6.5 – 9 ppm
CO ₂	< 2 ppm
Temperatura	12 – 21 ° C
pH	6.5 – 8.5
Alcalinidad	10 – 400 mg/L
Manganeso	< 0.01 mg/L
Hierro	< 1 mg/L
Zinc	< 0.05 mg/L
Cobre	< 0.006 mg/L

Fuente: (FAO, 2005)

La producción trutícola comercial se realiza en monocultivo, generalmente en estanques con flujo abierto, jaulas flotantes o sistemas de recirculación. Esta condición permite incrementar la densidad de siembra y garantizar la calidad física, química y biológica del recurso hídrico empleado (Jacumar, 2009). El agua utilizada en el cultivo de esta especie puede provenir de acuíferos o ríos que mantengan parámetros óptimos de calidad para la producción comercial. Para determinar la factibilidad del uso de una fuente de agua se debe cumplir con los parámetros mencionados en Tabla 1.

2.6.1 Técnicas de engorda

Para que los proyectos trutícolas mantengan producción constante se requiere la planificación de un modelo que contemple la realización de cosechas parciales, manteniendo un stock suficiente de peces en etapa de engorde para satisfacer las demandas del mercado (Araya, Madrigal, Méndez, & Picado, 2014).

Los sistemas de producción para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de tipo jaula flotante, canales o piscina permiten la engorda eficiente del pez; porque presentan control de la alimentación, buena calidad de agua y oxigenación (FAO, 2014). Esto también ayuda en el control de enfermedades, mejora el crecimiento, la conversión alimenticia y garantiza la uniformidad del producto (FAO, 2005).

Durante la crianza comercial de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se coloca a los alevines en la piscina correspondiente a la etapa hasta que alcanzan entre 8 a 10 cm de longitud (FAO, 2005), cuando adquieren esta dimensión se trasladan hacia piscinas de engorda donde se mantienen hasta obtener el tamaño comercial; para la venta en el mercado ecuatoriano se requiere individuos de 26 cm con peso de 250 g (Ortiz, 2015).

2.7 Alimentación

La alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en cultivo intensivo se realiza con dietas peletizadas, formuladas específicamente para cada etapa fisiológica. Las mejoras en la nutrición de peces han demostrado la necesidad del uso de piensos extruidos, que presentan el pellet regular, homogéneo y con color oscuro (Blanco, 1995). Además, se ha reducido el uso de harina de pescado reemplazándola por fuentes alternativas como las de origen vegetal (FAO, 2005).

Cuando se emplea dietas balanceadas como sustitutos de la dieta natural es necesario satisfacer las demandas nutricionales y energéticas del pez, que varían en función del crecimiento y etapa fisiológica (Ortiz, 2015).

Por ejemplo, durante la etapa de alevinaje el requerimiento proteico es mayor que en etapa de engorde. Otro factor importante para la alimentación con dietas comerciales es el tamaño de la boca del pez, porque según este se estima el tamaño del pellet (FAO, 2014).

Los requerimientos nutricionales para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) durante todas sus etapas fisiológicas han sido descritos por National Research

Council (NRC). En Tabla 2 se presenta una adaptación de los requerimientos nutricionales y su uso, elaborado por FAO (2017) para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde.

Tabla 2
Requerimientos nutricionales de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para etapa de engorde

Nutriente	Requerimiento (materia seca)
Proteína cruda % min.	42
Aminoácidos % min.	
Arginina	2
Histidina	0.7
Isoleucina	0.8
Leucina	1.4
Lisina	1.8
Metionina	1
Fenilalanina	1.2
Treonina	0.8
Triptófano	0.2
Valina	1.3
Ácidos grasos esenciales % min.	
20:4n – 6	0.5
20:5n – 3	1
Carbohidratos % máx.	12
Fibra cruda % máx.	3
Energía digestible KJ/g min.	15.5
Macroelementos	
Calcio máx.	1
Fosforo min.	0.6
Magnesio min.	0.05
Sodio min.	0.06
Microelementos	
Potasio	0.7

Continua 

Hierro	60
Cobre	3
Manganeso	13
Zinc	30
Selenio	0.3
Iodo	1.1
Vitaminas min IU/Kg	
Vitamina A	2500
Vitamina D	2000
Vitaminas min mg/Kg	
Vitamina E	25 - 100
Vitamina K	1
Tiamina	10
Riboflavina	5
Piridoxina	6
Ácido pantoténico	20
Niacina	10
Ácido fólico	2
Vitamina B12	0.02
Colina	800
Biotina	0.15
Ácido ascórbico	40

Fuente: (FAO, 2017)

2.7.1 Proceso de ingesta

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez carnívoro que presenta adaptaciones morfológicas acorde a sus hábitos alimenticios, posee un olfato capaz de seleccionar sus presa y papilas gustativas para discriminar sabores (Blanco, 1995).

El proceso de alimentación en estanques inicia con la localización del pienso mediante la quimio-recepción por los órganos gustativos, que se concentran en mayor proporción en zonas cercanas a la boca. Y junto con el órgano olfatorio se

coordina una reacción frente a los cambios químicos del agua (Palacios & Ortega, 1993).

Luego de la detección del alimento inicia la ingestión, esto ocurre a través de la boca y cavidad oral. Las mandíbulas en el caso de los salmónidos son fuertes y presentan dientes mandibulares agudos, permitiendo atrapar el alimento, pero no masticarlo (Blanco, 1995).

Por lo cual pueden ingerir los pellets con facilidad para pasarlos posteriormente a través de la faringe hacia al estómago, donde actúa el jugo gástrico y enzimas. Finalmente ocurre el tránsito hacia el intestino, en el cual existen microvellosidades junto con pliegues que segregan enzimas provenientes de la pared intestinal, el hígado y páncreas que hidrolizan los nutrientes (Palacios & Ortega, 1993).

Las enzimas que actúan en el intestino incluyen a la lipasa, proteasa, tripsina, y quimio-tripsina (Blanco, 1995). En cuanto a la capacidad amilasa de la trucha se presenta una menor secreción frente a otras especies como la carpa, debido a una menor superficie intestinal (Palacios & Ortega, 1993).

Una vez que han actuado estas enzimas se obtiene componentes más sencillos como: aminoácidos en el caso de proteínas y disacáridos o monosacáridos para los almidones. Estos componentes atraviesan la pared intestinal e ingresan al torrente sanguíneo para su uso o transformación en diferentes partes del organismo (Blanco, 1995).

2.7.2 Gasto energético de la especie

Durante la cría en cautividad de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se debe suministrar los requerimientos energéticos en la dieta. Para lo cual es necesario conocer como ocurre la absorción de la energía ingerida, junto con las pérdidas ocasionadas durante este proceso.

En la Figura 3 se describe las pérdidas ocurridas desde el consumo de la energía hasta su metabolización y los porcentajes utilizados en cada etapa.

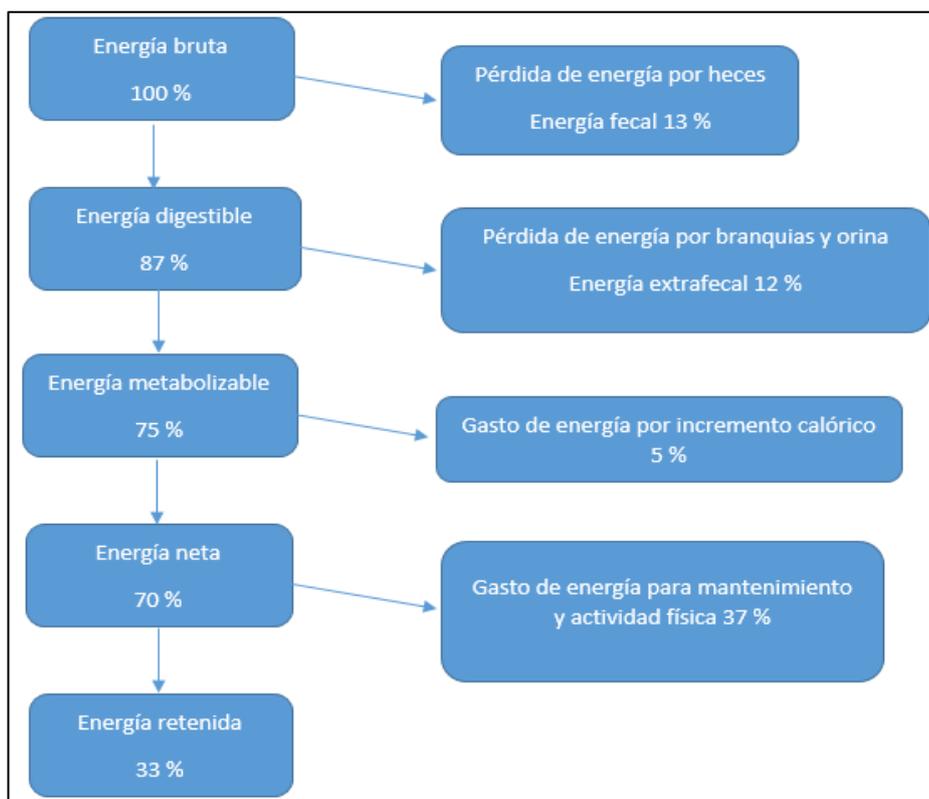


Figura 3 Pérdidas energéticas en la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Fuente: (Blanco, 1995)

2.7.3 Transformación energética

Luego de la ingesta de un alimento por parte del pez ocurren dos procesos metabólicos, que son: anabolismo y catabolismo. Pero para que esto ocurra existen distintas vías específicas para cada nutriente (Palacios & Ortega, 1993).

Los procesos de transformación energética de proteína en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) son importantes debido a la deficiencia de insulina en los peces (Palacios & Ortega, 1993). Este nutriente se emplea en el mantenimiento y crecimiento, para lo cual ocurre el catabolismo de los aminoácidos en el hígado donde se genera como productos la energía y amoníaco (Blanco, 1995). El valor de energía metabolizable de una proteína varía en función de su composición aminoácidica y su digestibilidad (Palacios & Ortega, 1993).

En el caso de los lípidos existe una tolerancia a altos contenidos en la dieta, ya que la trucha cuenta con capacidad de digestión de grasas entre el 85 al 99 %. Las grasas cumplen funciones de tipo energético y aporte de ácidos grasos esenciales,

siendo los triglicéridos una fuente importante de energía en el musculo de los peces (Palacios & Ortega, 1993).

Su transformación ocurre en el intestino por acción de la lipasa, que descompone a la grasa ingerida en glicerol y ácidos grasos libres que son absorbidos hacia el espacio linfático (Blanco, 1995). Para que estos compuestos se movilicen es necesario que se combinen con una proteína fijadora, colesterol y fosfolípidos que les permiten viajar a través de la sangre hacia los tejidos donde será consumida o almacenada (Blanco, 1995).

Por otra parte, los carbohidratos no son una fuente importante de energía para la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), debido a que en su dieta natural solo son consumidos como parte de tejidos y líquidos de sus presas. Cuando son ingeridos se procesan por acción de enzimas carbohidrasas en el intestino, transformándose principalmente en glucosa que es absorbida y utilizada por algunos tejidos (Blanco, 1995). Sin embargo, se requiere de insulina para emplear la glucosa como energía, pero en el caso de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) resulta deficiente; existiendo la posibilidad de presentarse diabetes por exceso de carbohidratos (Palacios & Ortega, 1993).

2.7.4 Suministro de alimento balanceado

El proceso de alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) se realiza con diferentes métodos, como: alimentación manual, alimentación mecánica y alimentación de demanda. Es importante adaptar estas metodologías según los requerimientos de cada explotación, prestando atención en satisfacer la necesidad nutricional del pez y mejorar el rendimiento económico mediante la reducción en el desperdicio de la dieta (FAO, 2017).

Durante la alimentación manual de peces se debe considerar la frecuencia con que se realiza, esto debido a que se obtiene mejores resultados dividiendo la ración para suministrarse mayor número de veces durante el día, dependiendo de la etapa fisiológica del pez (FAO, 2014). Igualmente, la distribución del alimento en diferentes puntos de la piscina ayuda a evitar la competencia (De la Oliva, 2011), ya que los peces se turnan para acceder al balanceado, siendo los más agresivos quienes se alimentan primero (FAO, 2017). Estos factores deben considerarse para evitar el

desperdicio de nutrientes, evaluando alternativas que mejoren el suministro y la ingesta de dietas balanceadas.

2.8 Gusto y estímulos olfativos

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es un depredador visual, pero durante su cría en cautiverio se estimula el consumo del alimento mediante su olfato (Valentincic, 2004). Existe una relación directa entre la percepción sensorial y el consumo de un alimento, porque durante este proceso actúa un complejo sistema químico sensorial que involucra actividades fisiológicas en diferentes órganos y sistemas del pez (Toshiaki, 2007).

En los peces el sentido del gusto se diferencia de los animales terrestres, porque los receptores gustativos son estimulados por soluciones diluidas o receptores químicos de distancia (Toshiaki, 2007). Las sustancias químicas del alimento se disuelven en el agua provocando el estímulo necesario para captar la atención del pez, el cual se mueve a través del agua degustando y olfateando las señales químicas en fracciones de segundos (Valentincic, 2004).

El olfato también es necesario para la detección e ingesta del alimento, en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) está bien desarrollado, contando con capacidad para discriminar sustancias odorantes en bajas concentraciones. Esto debido al perfeccionamiento que presenta el encéfalo, el cerebelo y especialmente los lóbulos olfatorios (Bioinnova, 2016). Igualmente, ayuda la presencia de las narinas en la parte frontal de la cabeza, a través de las cuales ingresa el agua junto con las sustancias químicas disueltas. Aquí son analizadas por el epitelio olfativo en roseta, que transmite las señales percibidas en el ambiente hacia el sistema nervioso (Salinas, 2015).

2.8.1 Quimiorrecepción

La quimiorrecepción es la capacidad de los animales para obtener información acerca de un estímulo químico, esto se realiza mediante células quimiorreceptoras que interpretan el tipo y distancia de una fuente de emisión química (Curtis, Sue, Schnek, & Massarini, 2008). Influyendo en el comportamiento y hábitos tanto alimenticios como reproductivos de los animales (Hill, Wyse, & Anderson, 2006).

Los peces poseen células quimio-receptoras a lo largo del cuerpo que se encuentran en la cavidad bucal, las barbas o aletas (Planas, 2005) y actúan durante la detección de sustancias químicas provenientes de distintas fuentes como el alimento (Curtis, Sue, Schnek, & Massarini, 2008). En los peces la base estructural del órgano gustatorio periférico son las papilas gustativas que pueden ser: orales, palatales, laríngeas, branquiales, cutáneas y barbillas. Estas transmiten sus impulsos por rutas a través del sistema nervioso llegando hasta al cerebro, conformando en conjunto el sistema gustativo (Toshiaki, 2007).

Por otra parte, el sistema olfativo de los peces actúa percibiendo moléculas pequeñas con alta sensibilidad, detectando especialmente aminoácidos no volátiles. Este proceso inicia con la acogida de una molécula odorante por parte de un receptor en las células olfativas (Toshiaki, 2007), que consiste en un epitelio neuro-olfatorio conectado por el lóbulo olfativo al sistema nervioso (Salinas, 2015). Durante este proceso se desencadena una cascada de reacciones enzimáticas y segundos mensajeros que transmiten la señal hasta la membrana neuronal. Bajo esta condición, las sustancias odorantes son importantes en la alimentación debido a su capacidad estimuladora (Toshiaki, 2007).

2.9 Aditivos alimenticios

El alimento para especies acuícolas ha sido ampliamente estudiado, buscando mejorar la calidad y contenido nutricional de la dieta. Pero a pesar de estos esfuerzos existe inconvenientes con la ingesta, provocando deficiencias en los requerimientos nutricionales de los peces (Montemayor, Mendoza, Aguilera, & Rodríguez, 2005).

Para que los peces de agua dulce localicen el alimento se requiere estímulos físicos y químicos que se perciben a través del gusto y el olfato, especialmente en especies carnívoras donde existe menor consumo de dietas balanceadas con proteína vegetal por baja palatabilidad (Castello, 2000). Por lo cual es necesario el uso de aditivos, que son ingredientes que mejoran la respuesta de los peces frente al alimento, promoviendo una rápida localización e incremento del consumo; a la vez disminuyen costos de producción y desperdicio (Galindo, 2007).

Esto, representa una alternativa para mejorar la ingesta de alimentos por parte de los peces en condiciones comerciales, para esto deben cumplir con algunas propiedades como: ser compuestos nitrogenados, tener bajo peso molecular, ser

anfóteros, soluble en agua y estar presente en tejidos de animales acuáticos (Castello, 2000).

Los aditivos alimenticios se clasifican según su efecto en la conducta del pez en: atrayentes, incitantes o estimulantes (Montemayor, Mendoza, Aguilera, & Rodríguez, 2005). Existen dos tipos de aditivos, según su obtención se clasifican en: orgánicos que provienen de recursos naturales y sintéticos que se generan por procesos químicos (Tacon, 1995). Estos actúan al ser detectados por el olfato, aunque estén en bajas concentraciones debido a la capacidad quimiorreceptora de los peces (Galindo, 2007).

2.9.1 Espirulina

El uso de microalgas en alimentación animal ha cobrado importancia debido a su contenido nutricional, destacando su abundancia proteica y concentración de lípidos esenciales (García M. , 2013). Espirulina es una de las algas más utilizadas para alimentación de peces, porque se puede cultivar en grandes volúmenes y con costos de producción bajos (Galindo, 2007).

Igualmente es necesario considerar la capacidad atrayente que presenta esta microalga, adicionada en dietas para especies acuícolas promueve el crecimiento, la eficiencia alimenticia, respuesta al estrés y mejora la resistencia a enfermedades (Galindo, 2007).

Además, es una alternativa para el reemplazo de harina de pescado como fuente principal de proteína en formulaciones para salmónidos, demostrándose que mejora el crecimiento de los peces sin generar efectos adversos (Pokniak, 2007).

El efecto atrayente de esta microalga se ha probado con dosis de inclusión bajas, como 0.5 % en camarón (*Litopenaeus vannamei*). Al ser adicionada a dietas comerciales existen beneficios productivos y su uso es viable por la disponibilidad existente en el mercado (Silva-Neto, Sabry, & Carmo, 2012).

Estudios previos demuestran que la inclusión de harina de espirulina en dietas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) contribuye en su nutrición (Pokniak, 2007), mejorando el uso de nutrientes suministrados al cultivo, especialmente de la proteína que representa el mayor costo en la formulación de la dieta. Junto con esto aporta dando consistencia, color y sabor a los piensos (Abdulrahman, 2014).

2.9.2 Betaína

La betaína es una amina cuaternaria descrita como uno de los principales atrayentes alimenticios para peces (Galindo, 2007). Además, es un compuesto estable durante el procesamiento para elaboración de balanceados y soporta temperaturas de hasta 200 °C (Nicovita, 1998). Presenta alta solubilidad en el agua por lo cual actúa efectivamente como estimulador del olfato en especies acuícolas (Polat & Beklevik, 1999), como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) que reconoce aproximadamente 20 aminoácidos (Toshiaki, 2007).

La adición de betaína en alimentos balanceados permite suplir los requerimientos de este compuesto, ya que las dietas formuladas contienen menor porcentaje de betaína frente a dietas de peces silvestres (Nicovita, 1998). Su uso ha demostrado mejoras en el comportamiento alimenticio, ya que es un compuesto que está presente en los tejidos de las presas naturales como crustáceos y moluscos (Toledo, 1994).

Algunos vegetales como la remolacha azucarera, trigo y espinaca son fuentes de betaína, siendo la betaína natural la forma más efectiva como atrayente alimenticio para salmónidos. Estudios previos en trucha y salmónes del Atlántico y Pacífico encontraron mayor crecimiento y conversión alimenticia, dado por la mejor palatabilidad (Guerrin, 2000). Igualmente, Tiril, Alagil, Yagci, & Aral (2008) menciona que la aceptabilidad de las dietas para trucha arcoíris mejora con la inclusión de 1.5 % de betaína.

2.9.3 Buclizina

La buclizina es un antihistamínico de primera generación, derivado de la Piperazina, que presenta efecto colinérgico con perfil depresor del sistema nervioso central (Kar, 2005). Es empleado para el tratamiento de afecciones relacionadas con náuseas, migraña y desordenes del sistema vestibular como el vértigo (Mostafa & Al-Badr, 2011).

Igualmente genera un estímulo no hormonal del apetito, debido a la leve actividad antiserotoninérgica que actúa en las neuronas del centro del apetito (NevoxFarma, 2016). Lo que ocasiona mayor ingesta de alimento que repercute en la ganancia de peso (Crespo & Brines citado por Balseca, 2015). Actúa suministrándose por vía oral y se absorbe por vía gastrointestinal, su transformación ocurre por acción

del citocromo P-450 eliminándose en la orina y heces (Samaniego citado por Balseca, 2015).

2.10 Análisis hematológicos

Los análisis hematológicos en peces permiten diagnosticar enfermedades infecciosas, deficiencias nutricionales y alteraciones en factores ambientales (Von, Grajales, & Gutierrez, 2011). Constituyen una herramienta práctica que se aplica en el monitoreo constante de las poblaciones en confinamiento. Al vigilar el estado nutricional de los peces se obtiene el máximo rendimiento productivo y menor incidencia de enfermedades (Sanz F. , 2009).

En el diagnóstico de problemas asociados a la nutrición es importante fundamentarse en técnicas de ictiopatología nutricional, porque analizan trastornos provocados por deficiencias o desequilibrio alimenticio en peces. Evitando confundirlos con afecciones por agentes patógenos o de calidad de agua (Tacon, 1995). Para esto se utiliza el hemograma total, que incluye la realización de hematocrito, conteo de glóbulos rojos y contenido de metabolitos en la sangre.

Es importante resaltar que la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) presenta variaciones en los parámetros hematológicos debido a la dieta (Barnhart, 1969). Por lo cual se debe aplicar análisis sanguíneos en explotaciones piscícolas intensivas, ya que la única fuente de nutrimento proviene de dietas comerciales (Tacon, 1995).

2.10.1 Hematocrito

El hematocrito describe la proporción existente entre la fase sólida y el plasma de una muestra de sangre (Silva & García, 2004). Cuando se obtiene valores menores que los referenciales para cada especie, existe anemia provocada por deficiencia de hierro o falta de vitamina B12 (Curtis, Sue, Schnek, & Massarini, 2008).

Este parámetro está directamente relacionado con la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, el cual se ve afectado por condiciones patológicas, toxicológicas o estados nutricionales deficientes (Gallaughner & Farrell, 1998).

En piscicultura se emplea para detección de enfermedades o deficiencias nutricionales, porque en este parámetro se refleja rápidamente efectos asociados con la desnutrición (Alvarez, Tamez, & Montemayor, 2013).

2.10.2 Conteo de glóbulos rojos

El conteo de glóbulos rojos proporciona información acerca de desórdenes nutricionales o patológicos en la cantidad de eritrocitos presentes en la sangre periférica (Alvis, 2006). Esta práctica permite conocer el estado fisiológico del animal y el efecto que generan las condiciones del ambiente en el cual se está desarrollando (Sanz, y otros, 2003).

El incremento en el número de eritrocitos indica estrés hipóxico por condiciones del agua, presencia de tóxicos o excesiva acumulación de nitritos (Alvis, 2006). Esto debido a que disminuye la concentración de oxígeno disponible para la respiración, generando respuestas fisiológicas compensatorias en los mecanismos de transporte de oxígeno en la sangre (Valenzuela, Alveal, & Tarifeño, 2007).

Es importante considerar esta variable en estudios nutricionales, ya que la capacidad de transporte de oxígeno afecta al metabolismo de los peces e influye sobre el índice de conversión alimenticia (Mallya, 2012).

2.10.3 Contenido de albúmina en la sangre

Las proteínas hepáticas que se encuentran en el suero sanguíneo incluyen a la transferrina, albúmina y prealbúmina; pero la albúmina se presenta en mayor concentración (Fuhrman, Charney, & Mueller, 2004). Desempeña un rol fundamental en el transporte de ligantes exógenos y sustancias químicas endógenas que regulan la presión osmótica en la sangre (Rudneva, 2013). Por lo cual, es considerada con mayor importancia clínica que la evaluación de proteína total en el desarrollo de estudios bioquímicos en peces (Crivelenti, Borín, Socha, & Mundim, 2011).

La concentración de albúmina en la sangre es influenciada por cambios en la dieta, por esto se utiliza como indicador confiable del estado nutricional (Topf & Friedman, 2015). Además, presenta ventajas como fácil medición, bajo costo y repetibilidad (Alp, 2012).

Los niveles bajos de sueros hepáticos muestran propensión al desarrollo de desnutrición (Fuhrman, Charney, & Mueller, 2004). También, la reducción en la concentración de albúmina manifiesta contaminación en el agua, presencia de químicos tóxicos, procesos patológicos o invasión parasitaria (Rudneva, 2013).

2.10.4 Contenido de glucosa en la sangre

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es deficiente en la producción de insulina, lo que limita su capacidad de reducción de la glucosa en la sangre (Díaz, Pérez, de la Cruz, Quincosa, & Sánchez, 2009). Por lo cual no se recomienda el consumo excesivo de carbohidratos en la dieta de salmónidos.

La obtención de glucosa en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) ocurre transformando los aminoácidos ingeridos a través de la vía gluconeogénica. Este carbohidrato es empleado en tejidos que lo requieren como fuente de energía. Con el incremento exógeno en la dieta de hasta el 10 % de glucosa, no se afecta a la conversión alimenticia o el crecimiento (Castelló, 1993). Pero es necesario monitorear sus niveles en la sangre para evitar desórdenes nutricionales (Caamaño, 2006).

Además, se considera como indicador de bienestar en salmónidos porque es influenciado por la liberación de hormonas. Su nivel se altera durante periodos de estrés (Muñoz, Mardones, Vargas, & Gesto, 2015) debido a que la concentración de cortisol contribuye en el metabolismo de los carbohidratos (Ellis, y otros, 2012).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Ubicación del lugar de investigación

La fase experimental de este proyecto se desarrolló en las instalaciones de producción trutícola de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas–ESPE. Los análisis y procedimientos *in vitro* se realizaron en el Laboratorio de Recursos Bioacuáticos y Acuicultura de esta carrera.

3.1.1 Ubicación política

La Carrera de Ciencias Agropecuarias IASA I, se encuentra en la Provincia: Pichincha, Cantón: Rumiñahui, Parroquia: Sangolquí.

3.1.2 Ubicación geográfica

Las instalaciones de producción trutícola del IASA I (Figura 4) está localizada en el sector de “Pailones” de la Hacienda “El Prado”, ubicada en la longitud 78° 24' 44”, latitud 0° 23' 20” (S) y altitud 2748 m.s.n.m.



Figura 4 Vista panorámica del lugar de investigación

3.1.3 Ubicación ecológica

Se encuentra en el piso altitudinal Montano Bajo, Región latitudinal Templada, zona de vida Bosque Húmedo, Clasificación Bioclimática Húmedo – Templado, Provincia de Humedad Húmedo, temperatura promedio 13.89 °C, precipitación anual 1285 mm/año y humedad relativa promedio 69.03 %.

3.2 Materiales

3.2.1 Biológicos

- 600 peces juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) con peso promedio de 66.23 ± 2.42 g

3.2.2 Insumos de campo

- 200 kg de alimento balanceado para trucha arco iris con 44 % de proteína
- Cooler
- Ictiómetro
- Baldes
- Tinas plásticas (capacidad 60 litros)
- Cooler
- Redes de pesca

3.2.3 Equipos

- Centrífuga
- Balanza electrónica
- pH metro
- Termómetro
- Oxímetro
- Autoclave
- Microscopio óptico
- Cámara digital
- Refrigeradora
- Computador

3.2.4 Insumos de laboratorio

- Tubos capilares
- Jeringuillas de 3 ml

- Tubos eppendorf
- Pipeta hematocitométrica
- Regla para lectura de hematocrito
- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitación
- Porta y cubre objetos
- Guantes
- Matraces
- Fundas ziploc

3.2.5 Reactivos

- Reactivo de Natt y Herrick
- Tintura de Iodo
- Eugenol
- Heparina sódica

3.3 Métodos

3.3.1 Fase de campo

3.3.1.1 Aclimatación y cuidado de animales

Durante el desarrollo de esta investigación se utilizó las recomendaciones de American Fisheries Society (2004) con su guía de Directrices para el Uso de Peces en Investigación. Se mantuvo a los peces en 3 piscinas circulares de 9 m³ y temperatura de agua promedio de 14 °C. Cada tanque se dividió en cuatro partes iguales delimitando las unidades experimentales, se empleó red de pesca con orificio de 1.5 pulgadas.

La tasa de recambio de agua fue del 80 % y se colocó aireación durante 1 hora después de cada comida y la noche. La calidad del agua se mantuvo dentro de los valores recomendados por FAO (2005) para el cultivo comercial de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), permitiendo la evaluación diaria de oxígeno (Oxímetro YSI 550), potencial hidrógeno (pH- metro HANNA, HI 98127), conductividad eléctrica (Conductivímetro HANNA, HI 98130) y temperatura (Termómetro laser EXTECH, 42530).

El tiempo de aclimatación fue de 15 días hasta la aplicación de los tratamientos. Para la alimentación se suministró balanceado comercial BIOMIX ®

para la etapa de engorde con 44 % de proteína. La frecuencia de alimentación fue de tres veces al día, dividiendo la ración calculada en función del peso corporal y temperatura con un estimado del 1.8 %/día.

3.3.1.2 Muestreo de animales

Para esta investigación se empleó 600 peces en total, con un peso promedio de 66.23 ± 2.42 g. Pero debido al maltrato, dificultad y elevación de costos que representa la toma de datos de todos los animales se tomó una muestra por cada unidad experimental, que se estimó acorde a la siguiente ecuación:

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2} * CV}{L} \right)^2$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

T α = Valor de la distribución normal para el nivel de confianza deseado.

CV = Coeficiente de variación.

L = Error aceptado.

Se utilizó un nivel de confianza del 95%, con un error aceptado de 5 %. Para el cálculo del coeficiente de variación se realizó una prueba previa para el peso, tomando una muestra al azar de 20 peces por unidad experimental.

3.3.1.3 Evaluación de la capacidad de ingesta

La determinación de la capacidad de ingesta de la dieta se llevó a cabo durante 5 días, basándose en la metodología para estimar el consumo de alimento de Oikawa & March (1997), que consiste en pesar la ración diaria y dividirla igualitariamente en 4 envases estériles, posterior a esto se suministró el contenido de cada envase a la unidad experimental correspondiente utilizando una espátula libre de contaminación durante 1 minuto, hasta observar la saciedad del pez y se repitió el proceso con los 4 envases. Luego de esto se pesó el alimento sobrante para estimar el alimento residual (AIR). Para validar la tasa de consumo se empleó una cámara sumergible colocada 20 minutos antes de la alimentación y se filmó en tiempo real durante 10 minutos aproximadamente.

La tasa de consumo de alimento en base del peso corporal (PC) consumido al día se calculó con la fórmula de Calderón (2010) que se describe a continuación.

$$\text{Tasa de consumo } \left(\frac{\%PC}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Alimento consumido } \left(\frac{g}{\text{día}} \right)}{\text{Biomasa}} * 100$$

$$\text{Alimento consumido} = Al_E - Al_R - \text{Pérdidas por no consumo}$$

$$\text{Pérdidas por no consumo} = Al_E * \text{Factor de pérdida}$$

Donde:

AlE = Alimento entregado (g) en base seca.

AlR = Alimento residual (g) en base seca.



Figura 5 Esquema de evaluación de capacidad de ingesta

3.3.1.4 Evaluación de la eficiencia alimenticia

La eficiencia de la dieta se evaluó midiendo las variables productivas como: índice de conversión alimenticia, índice de condición corporal, eficiencia alimenticia, tasa de crecimiento específico; morfométricas: masa corporal, longitud total, longitud caudal, ancho total; hematológicas: hemograma total.

Las variables morfométricas y productivas se valoraron en los días 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 del experimento. Para facilitar la manipulación de los peces fueron sedados (Figura 6) con Eugenol (esencia de clavo) en dosis de 3 ppt (partes por mil) colocado en una tina con agua y oxigenación. Durante el pesaje se colocó en la balanza (Micra Basic SD, apreciación 1 g) un recipiente con volumen de agua de 2 litros, luego se encendió y colocó el pez previamente sedado. Las longitudes se obtuvieron con un ictiómetro (apreciación 1 cm) después de realizado el pesaje, apuntando las mediciones obtenidas en el formato de registro del experimento

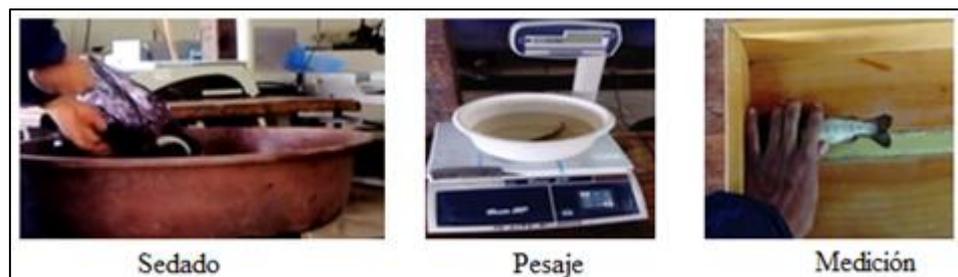


Figura 6 Proceso para medición de variables morfométricas

3.3.2 Fase de laboratorio

3.3.2.1 Elaboración del alimento

Los atrayentes empleados en este estudio se añadieron a la ración diaria. Para lo cual se trituró la dieta comercial con un molino manual, colocando este producto en una bandeja junto con la dosis calculada de atrayente para cada tratamiento, se realizó una mezcla homogénea con ayuda de una espátula para laboratorio libre de contaminantes. Para adicionar el tratamiento correspondiente a buclizina se disolvió previamente la dosis calculada en alcohol potable utilizando 700 ml/kg de alimento.

En la mezcla se adicionó solución de gelatina sin sabor con agua en proporción 1:100, posterior a esto se amasó y pasó a través de un molino de carne para formar los pellets. Finalmente se dejó secar el alimento a temperatura ambiente durante 24 horas. Antes del suministro manual de la dieta se tamizó los pellets, para



Figura 7 Proceso para adición de tratamientos a la dieta comercial

homogenizar la granulometría del alimento en un tamaño aproximado de 4 mm.

3.3.2.2 Prueba de estabilidad del alimento

Para determinar la estabilidad del alimento se empleó la metodología de Molina (2003) que coloca 2 g de pellets en botellas de vidrio por triplicado para cada tratamiento con 250 ml de agua dulce. Se llevaron a un agitador incubador (Innova 40) a 70 rpm durante 2 horas y temperatura de 28 °C. Luego de esto se tamizó los pellets a través de mallas de 600 micras y se secaron en estufa (Ecocell 55) a 60 °C por 24 horas para determinar el peso seco. El cálculo del porcentaje de retención de materia seca se realizó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de retención de materia seca} = 100 - \left(\frac{PDai - PDds}{PDai} \right) \times 100$$

Donde:

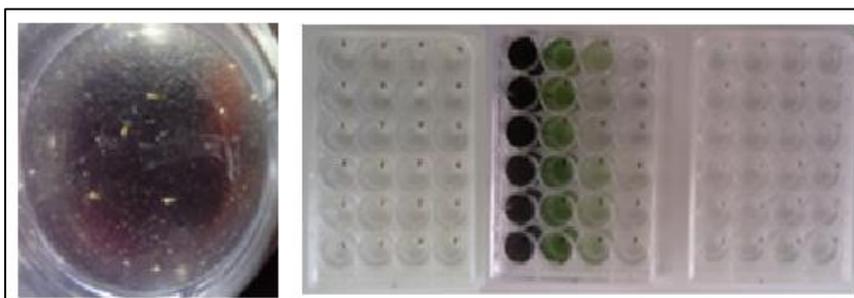
PDai = peso seco de la dieta antes de la inmersión

PDds = peso de la dieta después del secado

3.3.2.3 Prueba de toxicidad de los aditivos en el modelo biológico *Artemia salina*

Previo al suministro de los tratamientos se evaluaron potenciales riesgos de la inclusión de los aditivos mediante bioensayo de toxicidad en *Artemia salina*, siguiendo la metodología descrita por Sánchez y Neira (2005). Para esta prueba se eclosionó nauplios de *Artemia*, hidratando 2 g de cistos en 1 litro de agua durante 40 minutos, posteriormente se transfieren a matraces Erlenmeyer de 250 ml con solución salina (12.5 g de sal marina/Litro), aireación suave y temperatura constante hasta la eclosión.

Junto con esto se prepararon diluciones por triplicado de 0, 10, 100, 250, 500, 1000, 5000 y 7500 ppm de cada aditivo que se colocaron en pocillos de placas de cultivo celular (Figura 8) de 2 ml de capacidad, las cuales contenían 10 nauplios de



Artemi **Figura 8 Prueba de biotoxicidad con *Artemia salina*** a de 48 horas post-eclosión y agua de mar (Villafuerte, 2016).

Después de 24 horas se cuantificó el número de nauplios sobrevivientes en cada pocillo, determinando el porcentaje de mortalidad mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de mortalidad} = \frac{\text{número de nauplios muertos}}{\text{número de nauplios iniciales}} * 100$$

Los datos obtenidos se examinaron mediante análisis Probit, obteniendo la dosis con que se alcanzó la mortalidad del 50 % de los nauplios (DL50) y

estableciendo su clasificación según la tabla de toxicidad estandarizada CYTED (Sánchez & Neira, 2005).

3.3.2.4 Extracción de sangre

Para la extracción de sangre se empleó la técnica de punción caudal con jeringuilla de 3 ml heparinizada y aguja calibre 23 G. Luego se transfirió la muestra a tubos eppendorf de 3 ml previamente autoclavados y etiquetados, se mantuvo a 4 °C en un cooler hasta su traslado al laboratorio.

3.3.2.5 Evaluación de la concentración de albumina

La concentración de albumina en la sangre se determinó mediante el kit Albumin liquicolor (HUMAN), siguiendo el protocolo recomendado por el fabricante. Que indica que se debe pitear en un tubo eppendorf 10 µL de estándar o muestra y 1000 µL de reactivo, incubar por 5 minutos a temperatura entre 20 a 25 °C y medir la absorbancia en un espectrofotómetro (Thermo Spectronic, Genesys 20) a 578 nm (HUMAN, Albumin liquicolor, 2005).

Para calcular la concentración de albumina se aplicó la siguiente ecuación:

$$C = 4 * \frac{A_{muestra}}{A_{estandar}} (g/dL)$$

Donde:

Amuestra = Absorbancia de la muestra

A estándar = Absorbancia del estándar

3.3.2.6 Evaluación de la concentración de glucosa

La cuantificación del nivel de glucosa en sangre se realizó mediante el kit Glucose liquicolor (HUMAN), para esto se piteó en un tubo eppendorf 10 µL de estándar o muestra y 1000 µL de reactivo, se incubó por 10 minutos a temperatura entre 20 a 25 °C y midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Thermo Spectronic, Genesys 20) a 546 nm (HUMAN, 2005).

Para el cálculo de glucosa se aplicó la siguiente ecuación:

$$C = 100 * \frac{A_{muestra}}{A_{estandar}} (mg/dL)$$

Donde:

Amuestra = Absorbancia de la muestra

A estándar = Absorbancia del estándar

3.3.2.7 Hematocrito

Para la prueba de hematocrito se llenó 2 tubos capilares sin anticoagulante por cada muestra, hasta una altura aproximada de 3 cm y se selló la base con plastilina. Posterior a esto se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos, colocando los capilares en un tubo de ensayo debidamente etiquetado y con algodón en la base. Después del centrifugado se colocó el capilar en la regla hematocimétrica (Figura 9) para su lectura.



Figura 9 Proceso para lectura de hematocrito

3.3.2.8 Conteo de glóbulos rojos

El recuento eritrocitario se realizó preparando la muestra con solución de Natt y Hericks (Figura 10) en una dilución de 1:200 en pipetas de Thomas. Empleando la metodología descrita por Alaye & Morales (2013) se depositó una gota de solución para el conteo en cámara de Neubauer, mediante microscopio óptico (Leica) y cámara fotográfica adaptada (Motic v 2.0) con aumento 100 X.



Figura 10 Proceso para conteo de glóbulos rojos

3.3.2.9 Histología

Se sacrificó 3 peces por cada tratamiento al final del periodo de evaluación, colectando muestras de hígado según el protocolo descrito por Rosenthal, Sandoval, Gavidia, & Tabacchi (2013). Se valoró visualmente los órganos internos y externos, para después extraer un corte del hígado (Figura 11) de 2 cm de longitud aproximadamente. Las muestras de tejido hepático fueron fijadas en formalina al 10% neutralizada con fosfato de sodio, añadiendo una proporción 1:20 de formalina

buferada. El tejido deshidrato se colocó en parafina para realizar cortes histológicos de 7 μm de espesor. Para la tinción se utilizó la metodología convencional, Hematoxilina-Eosina y se observó al microscopio óptico (Leica) y cámara fotográfica adaptada (Motic v 2.0) con aumento 100x. Acorde a los resultados histológicos elaborados en el Laboratorio de Recursos de Acuicultura, se realizó la valoración cualitativa basados en la metodología de Arias & Poblete (1996).



Figura 11 Toma de muestras para histología

3.3.3 Diseño experimental.

3.3.3.1 Factores

Las dosis de espirulina como atrayente han sido evaluadas previamente en diferentes especies acuícolas, obteniendo los mejores resultados por Silva-Neto, Sabry & Carmo (2012) con dosis 0.5 % en camarón, Shawkat (2014) con 1 % en pez gato de aguijón y Abdulrahman (2014) con 0.5 % en carpa común. Igualmente, Tiril, Alagil, Yagci, & Aral (2008) y Polat & Beklevik (1999) mencionan que la suplementación de 1.5 % de betaína actúa efectivamente como atrayente en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Basados en estas investigaciones previas se determinó el factor en estudio para esta investigación, que consistió en la inclusión de los aditivos betaína, buclizina y espirulina a una dosis determinada.

3.3.3.2 Tratamientos a comparar

Para esta investigación se empleó 4 tratamientos, que se describen en la Tabla 3.

Tabla 3
Tratamientos suministrados a peces de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde

Tratamiento	Descripción	Dosis
T ₀	Testigo	
T ₁	Betaína	0.5 % de la ración alimenticia
T ₂	Buclizina	0.002% de ración alimenticia
T ₃	Espirulina	0.5 % de la ración alimenticia

3.3.3.3 Tipo de diseño.

El diseño experimental utilizado fue de Bloques Completamente al Azar (DBCA) y estructura de parcelas unifactorial. La fuente de variación para el bloque está dada por el efecto tanque.

3.3.3.4 Repeticiones

Para el ensayo se empleó 3 repeticiones, que consistían en jaulas con 50 peces para cada unidad experimental.

3.3.3.5 Características de las Unidades Experimentales.

La unidad experimental consistió en una jaula semicircular (Figura 12) con longitud de 1.35 m, cuerda de 1.70 m y profundidad de 1 m. Dentro de la cual se alojaron 50 peces de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) con peso promedio de 66.23 ± 2.42 g. En total se emplearon 12 unidades experimentales.

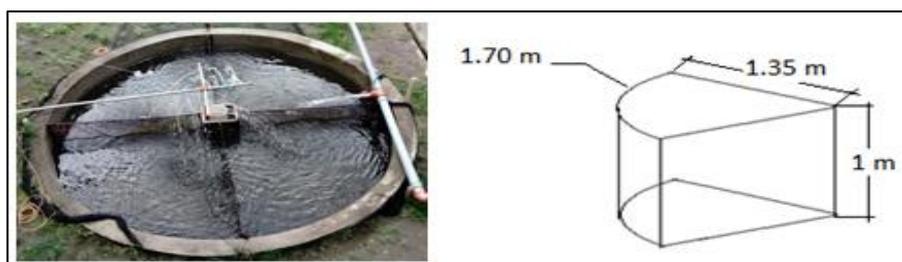


Figura 12 Dimensiones de la jaula empleada como unidad experimental

3.3.3.6 Croquis del diseño

La distribución de los tratamientos dentro de cada bloque se realizó de forma aleatoria (Figura 13).

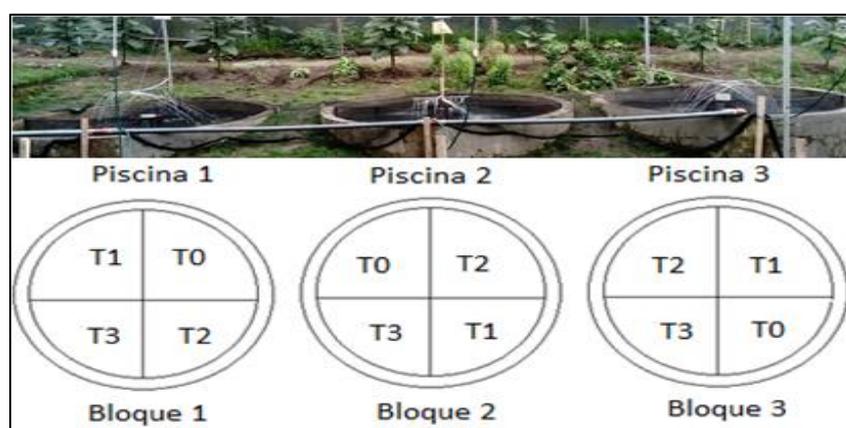


Figura 13 Croquis del diseño experimental

3.3.4 Variables del estudio

Las variables evaluadas en esta investigación se propusieron acorde a los objetivos planteados, dividiéndose en variables morfométricas, productivas y hematológicas.

3.3.4.1 Variables morfométricas

Las variables morfométricas que se midieron son: masa corporal (g), longitud total (cm), longitud caudal (cm), ancho total (cm). Presentándose como el promedio \pm error estándar.

3.3.4.2 Variables productivas

Las variables productivas que se evaluaron son: índice conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, índice de condición corporal y tasa de crecimiento específico.

El índice de conversión alimenticia (ICA) se estimó con la siguiente fórmula (Yigit & Keser, 2016):

$$ICA = \frac{\text{Consumo total de alimento}}{(\text{Peso corporal final} - \text{Peso corporal inicial})}$$

La eficiencia alimenticia (E.A.; %) se estimó con la fórmula expuesta a continuación (Rincón, y otros, 2012):

$$E. A. = \left(\frac{Pg}{Ai} \right) * 100$$

Donde:

Pg = peso ganado (g)

Ai = alimento ingerido (g)

Para el cálculo del índice de condición corporal se aplicó la fórmula de Fulton (Ricker citado por Cifuentes, y otros, 2012), que se describe a continuación:

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

Donde:

K = Condición del individuo

W = Peso corporal húmedo en gramos

L = Longitud del pez en centímetros

La tasa de crecimiento específico (TCE; %) se obtuvo con la siguiente fórmula (Yigit & Keser, 2016):

$$TCE = \left(\frac{\text{Ln peso corporal final} - \text{Ln peso corporal inicial}}{\text{Días}} \right) * 100$$

3.3.4.3 Variables hematológicas

La variable hematológica evaluada fue la determinación de un hemograma total (hematocrito, glóbulos rojos, albumina, glucosa).

3.3.5 Análisis estadístico

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante el software estadístico INFOSTAT, comprobando la normalidad con el método de Shapiro Wilk y homocedasticidad con prueba de Levene. Para el análisis de varianzas se empleó modelos generales lineales y mixtos, detectando diferencias entre medias de los tratamientos con pruebas LSD de Fisher a un nivel de significancia del 0,05%.

3.3.5.1 Esquema de análisis de varianza

Tabla 4
Análisis de varianza para el diseño experimental del estudio

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamientos	t-1	3
Bloque	b-1	3
Error experimental	(n-1) - (t-1)	5
Total	n-1	11

3.3.5.2 Coeficiente de variación

El coeficiente de variación (CV) se calculó con la fórmula que se describe a continuación:

$$CV = \frac{\delta}{|\bar{x}|} * 100$$

Donde:

δ = Desviación estándar

\bar{X} = Media

3.3.6 Análisis económico

El análisis financiero se realizó con la metodología de García (1995), considerando los costos operativos e ingresos para establecer los indicadores financieros: Tasa interna de retorno (TIR), Valor actual neto (VAN), Retorno financiero (ROE), beneficio/costo y punto de equilibrio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Prueba de estabilidad del alimento

Se realizó la prueba de estabilidad del alimento determinando la capacidad de retención de materia seca de los tratamientos, se comprobó los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Posterior a esto se realizó el análisis de varianza (Tabla 5) estableciendo que no existen diferencias significativas ($p = 0.9571$) entre los tratamientos, que fueron procesados según la metodología descrita para la inclusión de aditivos y control consistente en la dieta comercial sin procesar.

Tabla 5
Análisis de varianza para la estabilidad del alimento

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	4	0.15	0.9571
Error	10		
Total	14		

La Figura 14 presenta los promedios de retención de materia seca obtenidos sin mostrar diferencia estadística. Los valores son 46.31 ± 2.39 %, 47.04 ± 2.95 %, 47.37 ± 0.67 % y 47.12 ± 3.36 % para T₀, T₁, T₂ y T₃ respectivamente. Lo que, valida la metodología empleada para la adición de los tratamientos en esta investigación.

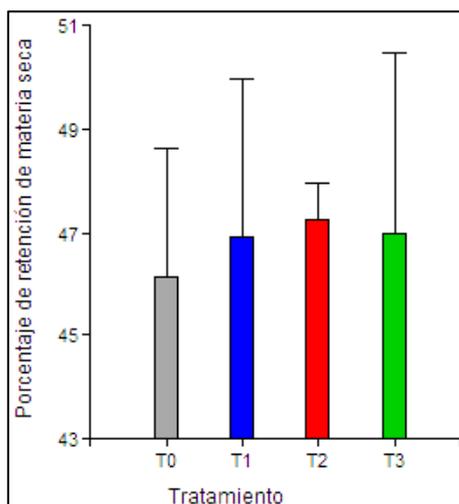


Figura 14 Promedio \pm error estándar de la capacidad de retención de materia seca

4.1.2 Prueba de toxicidad de aditivos mediante el modelo biológico de *Artemia salina*

4.1.2.1 Biotoxicidad de buclizina

Con los datos de mortalidad obtenidos a las 24 horas en la prueba de biotoxicidad con *Artemia salina* se realizó el análisis Probit, que determinó la dosis con la cual existió el 50 % de mortalidad.

Para el tratamiento correspondiente a buclizina existe relación estadísticamente significativa ($p < 0.001$) para las dosis y el porcentaje de mortalidad. El modelo ajustado ($R^2 = 86,11$) que mejor se adapta a la curva de mortalidad es: $\text{Mortalidad} = \text{normal}(-1,74266 + 0,00777357 * \text{Dosis})$ y se presenta gráficamente en la Figura 15.

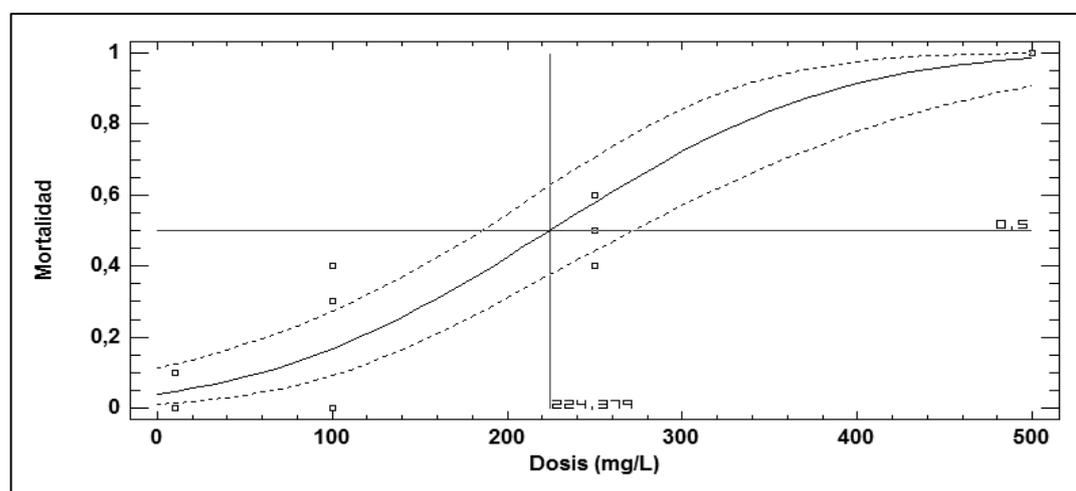


Figura 15 Modelo ajustado para la mortalidad en el ensayo de biotoxicidad de buclizina.

La dosis letal media se obtuvo con la adición de 224.178 ppm, el límite inferior corresponde a 185.141 ppm y el límite superior a 271.864 ppm, con un nivel de confianza del 95 %. Con lo cual se clasificó a la buclizina según la metodología CYTED en la categoría III correspondiente a sustancia moderadamente tóxica.

4.1.2.2 Biotoxicidad de betaína

Los resultados de la prueba de biotoxicidad con *Artemia salina* para el tratamiento de betaína fueron analizados con el estudio Probit, encontrando una relación estadísticamente significativa ($p < 0.001$) entre la dosis y el porcentaje de mortalidad. Se determinó el modelo ajustado ($R^2 = 91.277$, Figura 16) para la curva de mortalidad, el cual corresponde a la ecuación: $\text{Mortalidad} = \text{normal}(-2.86823 + 0.00986815 * \text{Dosis})$.

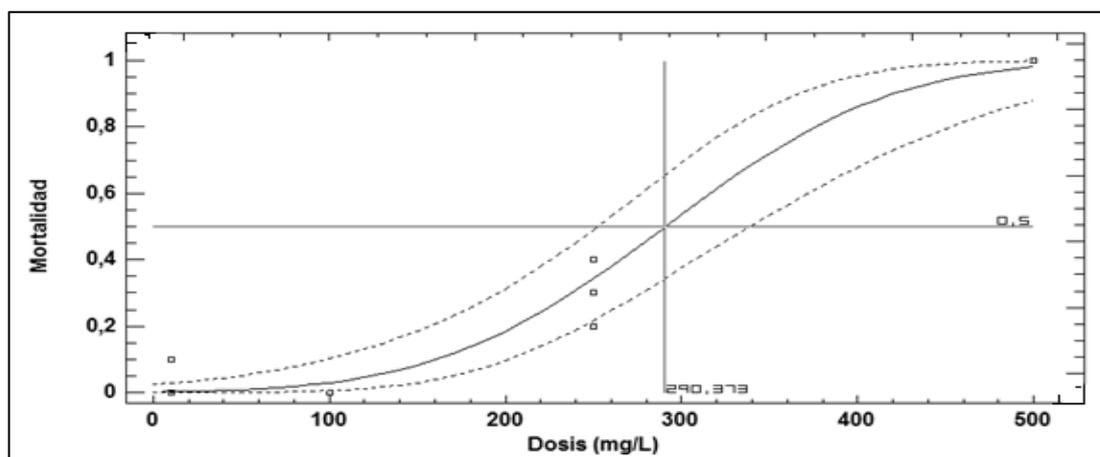


Figura 16 Modelo ajustado para la mortalidad en el ensayo de biotoxicidad de betaína

La dosis letal media se estableció en 290.655 ppm y los límites superior e inferior en 252.395 y 339.83 ppm respectivamente, con un nivel de confianza del 95 %. Por lo cual se clasificó a la betaína como sustancia moderadamente tóxica correspondiente a la categoría III según la metodología CYTED.

4.1.2.3 Biotoxicidad de espirulina

La mortalidad obtenida en la prueba de biotoxicidad con espirulina fue analizada con el método Probit, para esto se transformó a la dosis con Log_{10} . Encontrándose una relación estadísticamente significativa entre la dosis y el porcentaje de mortalidad ($p < 0.001$). Se determinó el modelo ajustado ($R^2 = 92.9303$, Figura 17) para la curva de mortalidad que corresponde a: $\text{Mortalidad} = \text{normal}(-8.45914 + 3.12085 * \text{Log}_{10}(\text{Dosis}))$.

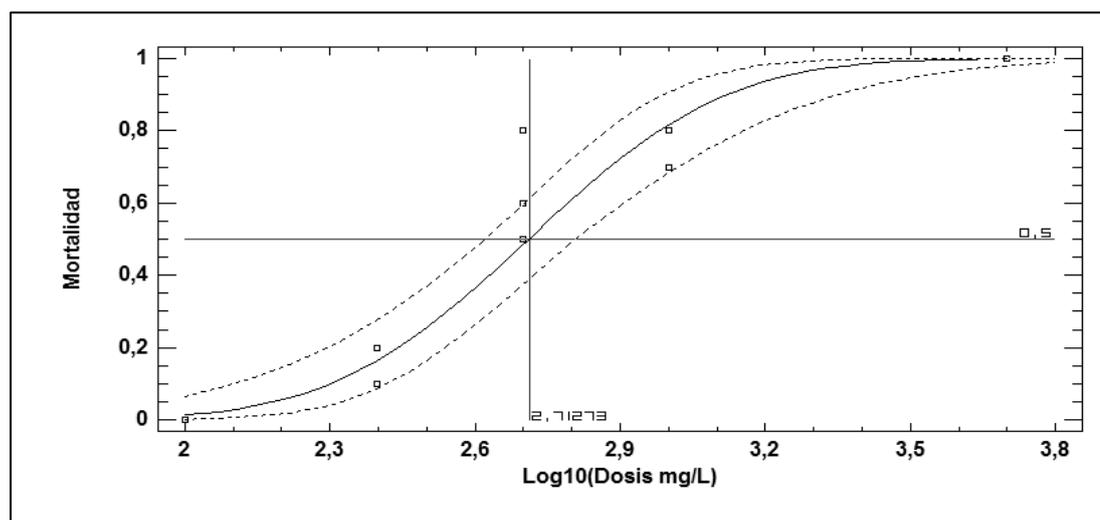


Figura 17 Modelo ajustado para la mortalidad en el ensayo de biotoxicidad de espirulina

La dosis letal media ocurre con la inclusión de 513.48 ppm, el límite inferior corresponde a 416.53 ppm y el límite superior es 644.87 ppm a un nivel de confianza del 95 %. Clasificando a la espirulina en la categoría IV de la clasificación CYTED correspondiente a ligeramente tóxico.

4.1.3 Prueba de capacidad de consumo de alimento

Los datos obtenidos durante la prueba de capacidad de consumo de alimento cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad transformándolos con potencia al cuadrado. El análisis de varianza determinó que no existen diferencias significativas ($p = 0.2448$, Tabla 6) entre los tratamientos.

Tabla 6

Análisis de la varianza para la capacidad de consumo de alimento

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	3	1.69	0.2448
Error	8		
Total	11		

En la Figura 18 se observa los promedios de los tratamientos obtenidos sin registrarse diferencias significativas, presentando similar capacidad de consumo. El control alcanza 1.51 ± 0.02 %, seguido de la betaína al igual que buclizina con 1.50 ± 0.01 % y espirulina con 1.48 ± 0.02 %.

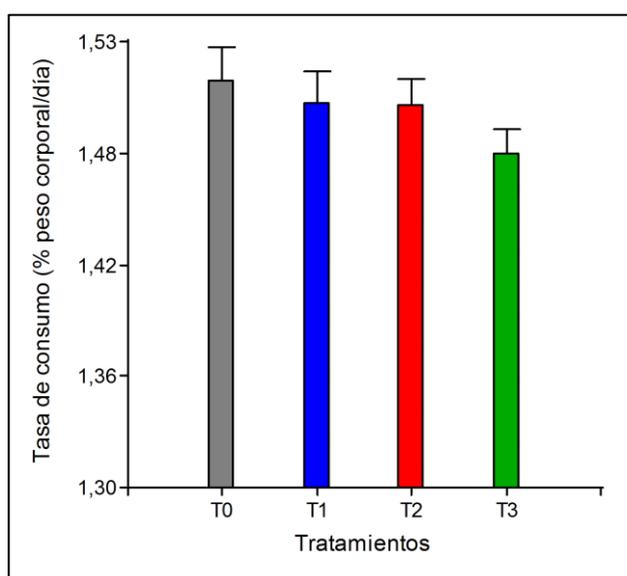


Figura 18 Promedio \pm error estándar de la tasa de consumo de alimento

4.1.4 Variables morfométricas

4.1.4.1 Peso corporal

El peso corporal para los tratamientos se determinó cada diez días, con estos datos se comprobó los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Al realizar el análisis de varianza se encontró interacción significativa ($p = 0.0002$, Tabla 7) entre el tiempo y los tratamientos.

Tabla 7
Análisis de la varianza para el peso corporal

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	3.56	0.0002
Error	36		
Total	54		

Existen diferencias significativas (Tabla 8) determinadas con la prueba LSD de Fisher entre los tratamientos y el control. La buclizina presentó el mayor valor alcanzando 124.07 ± 2.09 g en el día 60.

Igualmente, los dos aditivos siguientes son superiores al control, betaína alcanzo 118.47 ± 2.95 g y espirulina 116.17 ± 2.22 g.

Tabla 8
Promedio \pm error estándar del peso corporal (g)

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
0	64.9 \pm 1.4 p	66.6 \pm 1.72 p	65.73 \pm 0.84 p	67.67 \pm 1.74 p
10	74.07 \pm 1.08 o	77.2 \pm 0.9 mno	73.67 \pm 0.38 o	77.03 \pm 2.3 no
20	80.16 \pm 1.04 klmn	81.23 \pm 1.34 jklm	79.07 \pm 1.29 lmn	81.87 \pm 1.07 jkl
30	85.17 \pm 1.52 ij	86.2 \pm 0.7 hi	83.83 \pm 0.61 ijk	89.57 \pm 2.66 gh
40	93.53 \pm 2.07 g	98.2 \pm 1.51 f	102.17 \pm 2.1 ef	99.87 \pm 1.22 ef
50	102.93 \pm 0.57 de	106.73 \pm 0.88 cd	110.6 \pm 0.21 c	107.27 \pm 1.75 c
60	109.03 \pm 0.65 c	118.47 \pm 2.95 b	124.07 \pm 2.09 a	116.17 \pm 2.22 b

La Figura 19 muestra el incremento de peso obtenido para cada tratamiento durante los 60 días de duración del estudio. Se observa que en el día 0 los pesos presentan poca variabilidad ya que se clasificó a los peces al inicio del experimento.

Hasta el día 30 existe una tendencia de reducción en esta variable para buclizina, pero a partir del día 40 alcanza el mayor promedio manteniendo esta tendencia hasta el final del estudio. Los tratamientos con betaína y espirulina mostraron similar crecimiento sin presentar diferencias estadísticas hasta el día 50, a pesar de esto para el día 60 alcanzan valores superiores al del control.

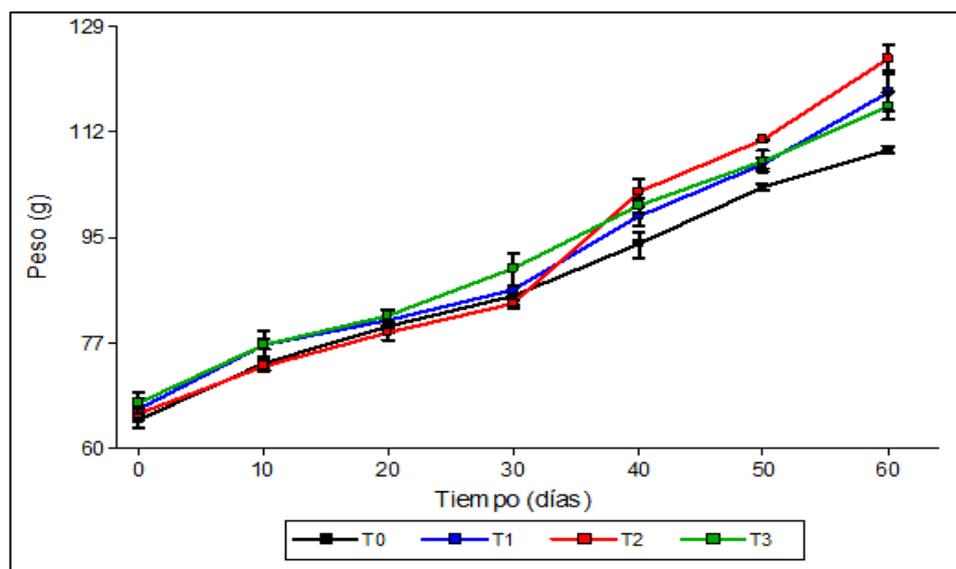


Figura 19 Promedio \pm error estándar del peso corporal a través del tiempo

4.1.4.2 Longitud corporal total

La longitud corporal total se valoró cada diez días, los datos fueron analizados demostrando que cumplían con los criterios de normalidad y homogeneidad. El análisis de varianza determinó que existe interacción significativa ($p = 0.0268$, Tabla 9) entre el tiempo y los tratamientos.

Tabla 9

Análisis de la varianza para la longitud corporal total

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	1.99	0.0268
Error	36		
Total	54		

Se presentan diferencias significativas entre las medias del control y los tratamientos (Tabla 10). En el día 30 el valor para espirulina es mayor que el control. Mientras que la media de buclizina es superior respecto al control en el día 60.

Tabla 10
Promedio \pm error estándar de la longitud corporal total (cm)

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
0	17.02 \pm 0.02 o	17.1 \pm 0.09 o	17.2 \pm 0.13 o	17.37 \pm 0.06 o
10	18.35 \pm 0.25 mn	18.28 \pm 0.22 mn	18 \pm 0.16 n	18.57 \pm 0.18 lm
20	19.2 \pm 0 k	18.92 \pm 0.14 kl	19.02 \pm 0.17 kl	19.15 \pm 0.1 k
30	19.28 \pm 0.07 jk	19.67 \pm 0.12 ij	19.1 \pm 0 k	19.97 \pm 0.26 hi
40	20.32 \pm 0.23 gh	20.7 \pm 0.15 efg	20.85 \pm 0 def	20.58 \pm 0.08 fg
50	21.22 \pm 0.13 cd	21.05 \pm 0.1 de	21.28 \pm 0.07 cd	20.93 \pm 0.15 def
60	21.57 \pm 0.18 bc	21.67 \pm 0.33 abc	22.12 \pm 0.03 a	21.82 \pm 0.42 ab

En la Figura 20 se observa el incremento de la longitud corporal total durante el estudio, reflejando que espirulina supera en 0.69 cm al control en el día 30. Y en el día 60 la diferencia entre buclizina y el control es de 0.55 cm.

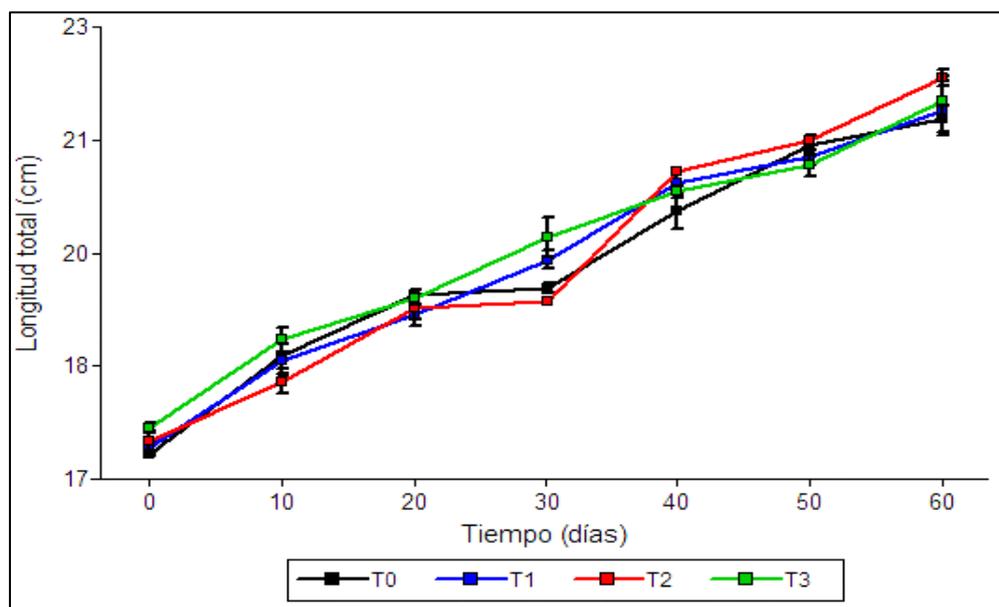


Figura 20 Promedio \pm error estándar de la longitud corporal total a través del tiempo

4.1.4.3 Longitud corporal parcial

Los datos obtenidos con la medición de la longitud corporal parcial cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Por lo cual se realizó el análisis de varianza que detectó interacción significativa ($p = 0.0092$, Tabla 11) entre el tiempo y los tratamientos.

Tabla 11
Análisis de la varianza para la longitud corporal parcial

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	2.31	0.0092
Error	36		
Total	54		

Se halló diferencias para los tratamientos frente al control en el día 40 (Tabla 12), pero en las siguientes mediciones los promedios son estadísticamente iguales hasta el día 60.

Al final del experimento el mayor valor numérico para esta variable es alcanzado por la betaína con 18.33 ± 0.24 cm seguido de buclizina con 18.03 ± 0.07 cm, el control con 18.02 ± 0.02 cm y finalmente el tratamiento espirulina con 17.82 ± 0.25 cm.

Tabla 12
Promedio \pm error estándar de la longitud corporal parcial (cm)

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T₀	T₁	T₂	T₃
0	14.98 ± 0.07 m	15.13 ± 0.12 m	15.2 ± 0.13 m	15.13 ± 0.07 m
10	15.72 ± 0.15 l	15.8 ± 0.15 kl	15.75 ± 0.15 l	16.13 ± 0.08 hijk
20	15.82 ± 0.1 jkl	16.13 ± 0.09 hijk	15.97 ± 0.02 ijkl	16.17 ± 0.09 hi
30	16.15 ± 0.09 hij	16.27 ± 0.03 hi	16.02 ± 0.07 ijkl	16.47 ± 0.09 gh
40	16.67 ± 0.11 g	17.08 ± 0.22 f	17.37 ± 0.19 ef	17.07 ± 0.14 f
50	17.68 ± 0.12 cde	17.68 ± 0.04 cde	17.57 ± 0.03 de	17.35 ± 0.03 ef
60	18.02 ± 0.02 abc	18.33 ± 0.24 a	18.03 ± 0.07 ab	17.82 ± 0.25 bcd

La Figura 21 refleja la evolución de las longitudes corporales parciales de los tratamientos durante el desarrollo del estudio. Se observa que el mayor valor es obtenido por espirulina en el día 30.

Luego de esto existe un incremento del promedio correspondiente a la buclizina para el día 40, presentando recuperación en la media con respecto a las mediciones anteriores.

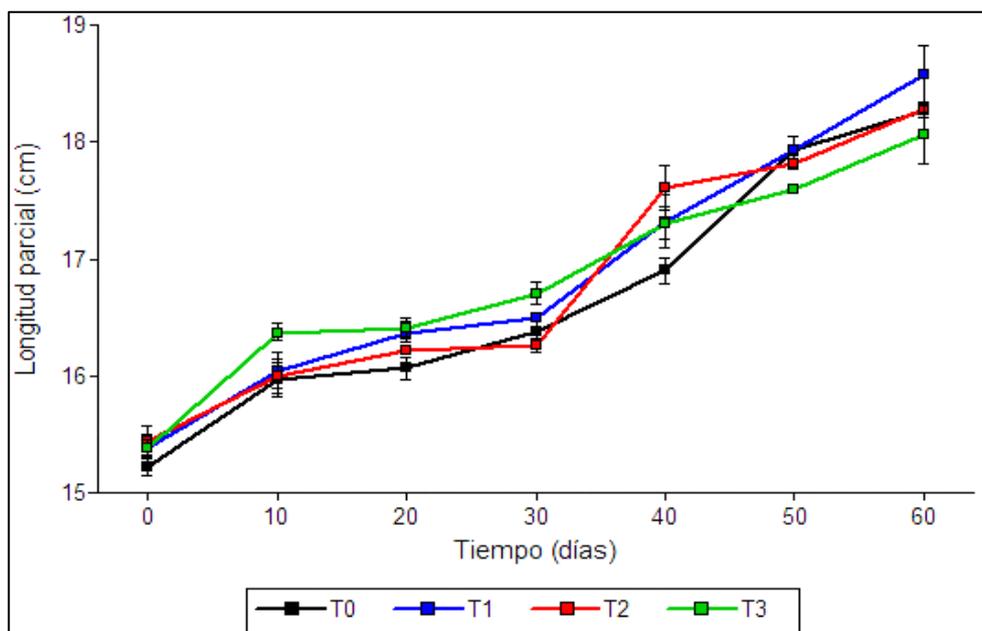


Figura 21 Promedio \pm error estándar de la longitud corporal parcial a través del tiempo

4.1.4.4 Ancho corporal total

Los datos recolectados en las mediciones del ancho corporal total cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se realizó el análisis de varianza correspondiente, determinando interacción significativa ($p = 0.0055$, Tabla 13) entre el tiempo y los tratamientos.

Tabla 13

Análisis de la varianza para el ancho corporal total

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	2.46	0.0055
Error	36		
Total	54		

Existieron diferencias significativas en los días 40 y 50 para buclizina, también en el día 60 entre los tratamientos y el control (Tabla 14).

Al final del ensayo buclizina alcanzó el mayor ancho corporal con 4.85 ± 0.05 cm, los tratamientos de betaína y espirulina midieron 4.72 ± 0.04 cm; este valor fue superior al control.

Tabla 14
Promedio \pm error estándar del ancho corporal total (cm)

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
0	3.75 \pm 0.03 lm	3.73 \pm 0.03 m	3.73 \pm 0.04 m	3.82 \pm 0.02 klm
10	3.93 \pm 0.02 ijk	3.95 \pm 0 ij	3.87 \pm 0.04 jkl	3.98 \pm 0.06 hij
20	3.97 \pm 0.02 ij	3.97 \pm 0.02 ij	4.02 \pm 0.03 ghi	4 \pm 0.06 ghi
30	4.05 \pm 0.03 ghi	4.12 \pm 0.03 fg	4.1 \pm 0.05 gh	4.23 \pm 0.06 f
40	4.4 \pm 0.05 e	4.48 \pm 0.03 de	4.62 \pm 0.08 bc	4.4 \pm 0.06 e
50	4.55 \pm 0.05 cd	4.53 \pm 0.12 cd	4.7 \pm 0.05 b	4.47 \pm 0.04 de
60	4.57 \pm 0.03 cd	4.72 \pm 0.04 b	4.85 \pm 0.05 a	4.72 \pm 0.09 b

La Figura 22 presenta los promedios para el ancho corporal total durante el estudio, se observa una tendencia superior con buclizina a partir del día 40, hasta alcanzar el mayor valor al final del estudio.

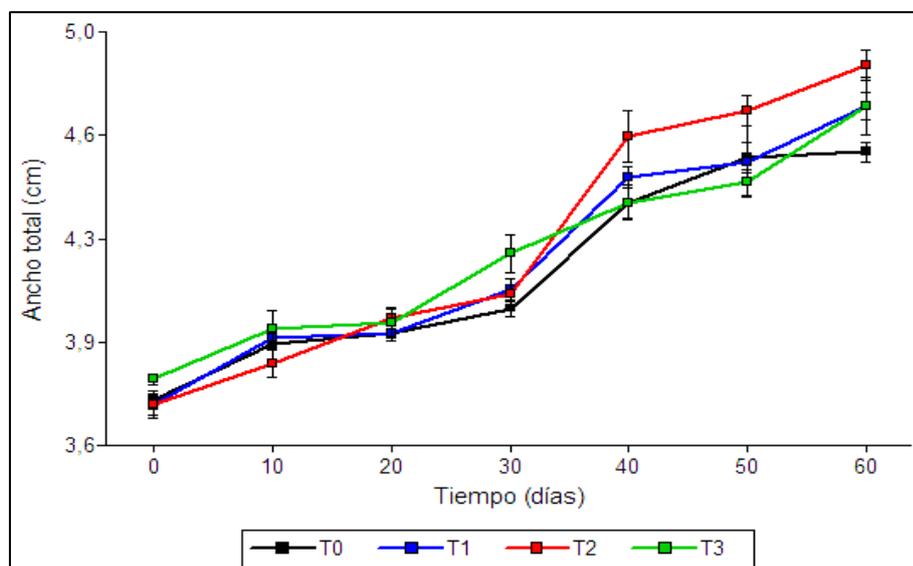


Figura 22 Promedio \pm error estándar del ancho corporal total a través del tiempo

4.1.5 Variables productivas

4.1.5.1 Índice de condición corporal

El índice de condición corporal fue calculado cada diez días y los datos obtenidos cumplieron con los criterios de normalidad y homocedasticidad. Se realizó

el análisis de varianza determinando que no existe interacción significativa ($p = 0.7238$, Tabla 15) entre el tratamiento y el tiempo.

Tabla 15
Análisis de la varianza para el índice de condición corporal

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	0.77	0.7238
Error	33		
Total	54		

La Tabla 16 presenta los promedios obtenidos sin diferencias significativas entre los tratamientos. Aunque se mantiene valores similares dentro de cada tiempo, los datos iniciales son superiores a los finales.

En el día 0 los medias para cada tratamiento son: control $1.31 \pm 0,03$, betaína $1.33 \pm 0,05$, buclizina $1.29 \pm 0,03$ y espirulina $1.29 \pm 0,03$, mientras que en el día 60 el control tiene $1.14 \pm 0,04$, betaína $1.15 \pm 0,02$, buclizina $1.1 \pm 0,04$ y espirulina $1.11 \pm 0,02$.

Tabla 16
Promedio \pm error estándar del índice de condición corporal

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
0	1,31 \pm 0,03 a	1,33 \pm 0,05 a	1,29 \pm 0,03 ab	1,29 \pm 0,03 ab
10	1,23 \pm 0,03 bcd	1,26 \pm 0,03 abc	1,27 \pm 0,03 abc	1,2 \pm 0,04 cde
20	1,14 \pm 0,02 efg	1,2 \pm 0,02 cdef	1,14 \pm 0,02 efg	1,16 \pm 0,02 defg
30	1,16 \pm 0 defg	1,13 \pm 0,02 efg	1,13 \pm 0,03 efg	1,12 \pm 0,04 fg
40	1,14 \pm 0,01 efg	1,1 \pm 0,03 g	1,14 \pm 0,01 efg	1,15 \pm 0,01 efg
50	1,11 \pm 0,03 g	1,14 \pm 0,01 efg	1,16 \pm 0,02 defg	1,14 \pm 0,02 efg
60	1,14 \pm 0,04 efg	1,15 \pm 0,02 efg	1,1 \pm 0,04 g	1,11 \pm 0,02 g

La Figura 23 muestra el promedio del índice de condición corporal durante el estudio. Se observa descenso progresivo para esta variable desde el día 0 hasta el día 30, presentando reducciones en este lapso de 0.15 para el control, 0.2 para betaína, 0.16 para buclizina y 0.17 para espirulina. Esta reducción disminuye a partir del día

40, donde se observa estabilización de los promedios para todos los tratamientos, que presentan valores similares hasta el día 60.

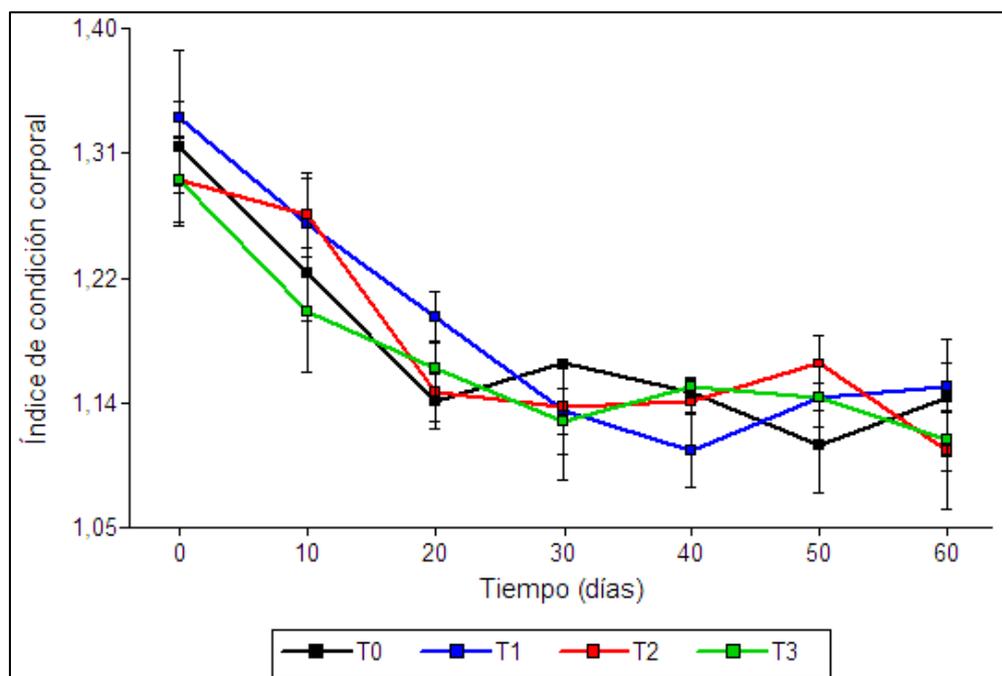


Figura 23 Promedio \pm error estándar del índice de condición corporal a través del tiempo

4.1.5.2 Tasa de crecimiento específica

La tasa de crecimiento específica fue calculada en los días 10, 20, 30, 40, 50 y 60 del estudio. Con los datos obtenidos se comprobó los criterios de normalidad y homocedasticidad, para cumplir con estos supuestos se transformó los datos con raíz cuadrada. Luego de realizar el análisis de varianza se determinó que no existe interacción significativa ($p = 0.1645$, Tabla 17) entre el tratamiento y el tiempo.

Tabla 17

Análisis de la varianza para la tasa de crecimiento específica

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	1.21	0.1645
Error	33		
Total	54		

Las medias encontradas no presentan diferencias (Tabla 18) entre tratamientos. Pero se observa que el mayor valor numérico corresponde a la buclizina durante el día 40 con la tasa de crecimiento específica de $1.97 \pm 0.24 \%$.

Tabla 18

Promedio \pm error estándar de la tasa de crecimiento específica (%)

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
10	1.2 ± 0.23 bc	1.48 ± 0.19 ab	1.14 ± 0.15 bcd	1.29 ± 0.08 bc
20	0.79 ± 0.16 cde	0.51 ± 0.28 e	0.7 ± 0.13 de	0.62 ± 0.19 de
30	0.6 ± 0.3 de	0.59 ± 0.2 de	0.59 ± 0.1 de	0.89 ± 0.21 cde
40	0.93 ± 0.32 bcde	1.3 ± 0.17 bc	1.97 ± 0.24 ab	1.1 ± 0.25 bcd
50	0.96 ± 0.2 bcde	0.84 ± 0.19 cde	0.8 ± 0.19 cde	0.71 ± 0.18 de
60	0.57 ± 0.01 de	1.04 ± 0.26 bcde	1.15 ± 0.18 bcd	0.8 ± 0.19 cde

La Figura 24 muestra la tasa de crecimiento específico que presentó variación numérica a través del tiempo, reduciendo su valor durante los días 20 y 30. Para el día 40 hubo un incremento importante en el promedio de buclizina, esto debido la ganancia de peso que tuvo este tratamiento durante esa medición. Sin embargo, estos valores disminuyen en el día 50 mostrando promedios similares, con un pequeño incremento en el día 60 a excepción del control.

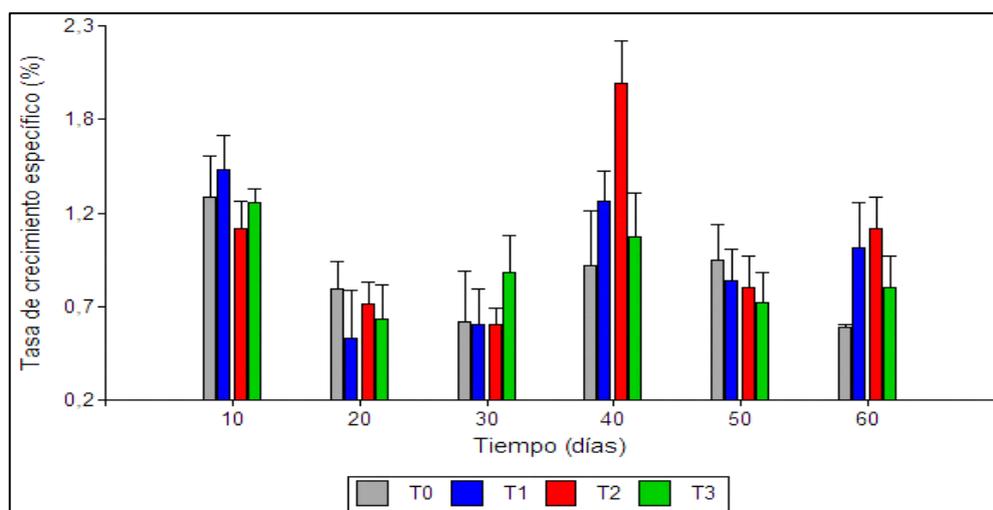


Figura 24 Promedio \pm error estándar de la tasa de crecimiento específico a través del tiempo

4.1.5.3 Factor de conversión alimenticia

Se calculó el factor de conversión alimenticia en el mismo lapso que la variable anterior. Los datos fueron transformados obteniendo el Log_{10} para que cumplan con los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Al realizar el análisis de varianza se encontró que no existe interacción significativa ($p = 0.5053$, Tabla 19) entre el tiempo y los tratamientos.

Tabla 19
Análisis de la varianza para el factor de conversión alimenticia

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	18	0.76	0.5053
Error	24		
Total	45		

La Tabla 20 presenta los resultados obtenidos para esta variable sin diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. El menor valor numérico se obtuvo al día 40 con buclizina. Igualmente, en el día 60 se observa la mejor conversión alimenticia con buclizina que tuvo un valor de 1.38 ± 0.26 , seguido de betaína con 1.71 ± 0.52 y espirulina con 2.11 ± 0.60 .

Tabla 20
Promedio \pm error estándar del factor de conversión alimenticia

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
10	1.34 ± 0.24 cdef	1.15 ± 0.13 ef	1.45 ± 0.21 abcdef	1.26 ± 0.12 def
20	1.54 ± 0.32 abcde	2.60 ± 0.75 abcd	1.55 ± 0.31 abcde	2.20 ± 0.63 abcde
30	2.80 ± 0.76 ab	2.52 ± 0.55 abc	2.81 ± 0.40 a	2.03 ± 0.63 abcde
40	2.13 ± 0.67 abcde	1.23 ± 0.13 def	0.96 ± 0.02 f	1.53 ± 0.29 abcdef
50	1.78 ± 0.43 abcde	2.12 ± 0.62 abcde	2.13 ± 0.45 abcde	2.50 ± 0.69 abcd
60	2.75 ± 0.12 a	1.71 ± 0.52 abcde	1.38 ± 0.26 a	2.11 ± 0.60 abcde

La Figura 25 muestra la variación que tuvo el factor de conversión alimenticia durante el estudio. Aunque no hubo diferencias significativas para los tratamientos, se observa que este factor incrementa su promedio para todos los tratamientos hasta el día 30.

Para el día 50 existe un aumento en los promedios de los tratamientos frente al control. Pero al final de la fase experimental se obtiene diferencias respecto al control de 1.37, 1.04, 0.64 para la buclizina, betaína y espirulina respectivamente.

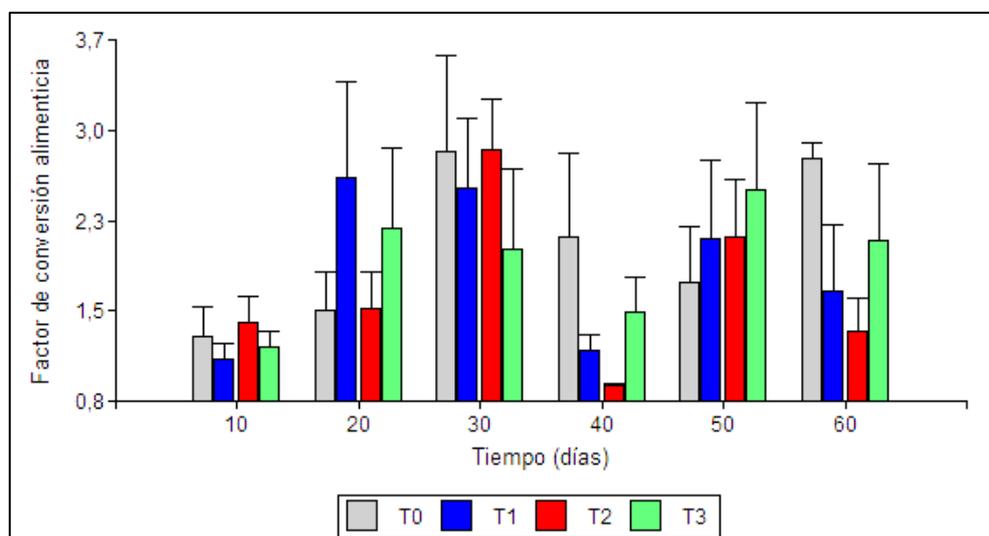


Figura 25 Promedio \pm error estándar del factor de conversión alimenticia a través del tiempo

4.1.5.4 Eficiencia alimenticia

Se transformó los datos con Log_{10} para que cumplan con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. El análisis de varianzas encontró que no existe interacción significativa entre ($p = 0.5061$, Tabla 21) el tiempo y los tratamientos.

Tabla 21

Análisis de la varianza para la eficiencia alimenticia

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento*Tiempo	3	1.69	0.5061
Error	42		
Total	45		

Los promedios obtenidos no presentaron diferencias estadísticas (Tabla 22). Pero la mejor eficiencia la presentó buclizina en el día 40 con 98.34 ± 1.15 %, mientras que al final del ensayo este valor fue de 72.32 ± 11.79 %. Los tratamientos betaína y espirulina en el día 60 alcanzaron 64.98 ± 16.93 % y 51.25 ± 11.55 % respectivamente.

Tabla 22
Promedio \pm error estándar de la eficiencia alimenticia (%)

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
10	74.36 \pm 11.42 abcd	83.39 \pm 8.87 ab	67.70 \pm 9.41 abcde	75.87 \pm 6.63 abc
20	65.63 \pm 11.27 bcde	46.33 \pm 17.78 cde	65.48 \pm 12.30 bcde	51.56 \pm 16.02 bcde
30	41.54 \pm 15.01 ef	40.51 \pm 7.34 def	35 \pm 5.68 f	54.24 \pm 12.99 cdef
40	56.20 \pm 20.19 bcde	78.62 \pm 9.04 abc	98.34 \pm 1.15 a	67.62 \pm 15.77 bcde
50	59.11 \pm 12.90 bcde	51.12 \pm 11.83 bdef	49.12 \pm 12.21 bdef	43.71 \pm 11.40 cdef
60	34.29 \pm 1.43 cf	64.98 \pm 16.93 bcde	72.32 \pm 11.79 bcde	51.25 \pm 11.55 cdef

La Figura 26 muestra los promedios de esta variable. Donde se observa que en el día 40 existe el mayor valor de eficiencia para el tratamiento buclizina. Y el menor promedio corresponde al control en el día 60.

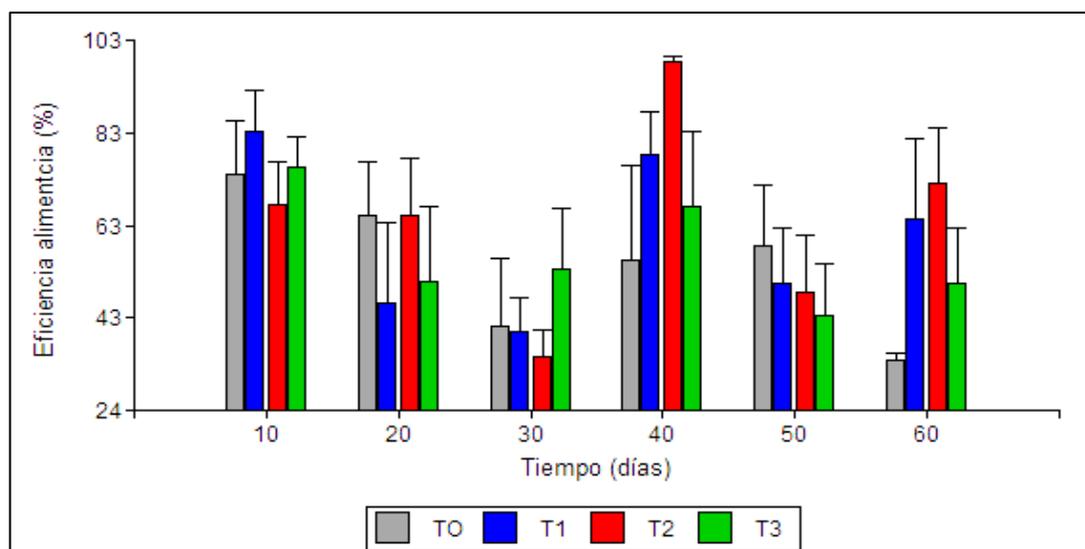


Figura 26 Promedio \pm error estándar de la eficiencia alimenticia a través del tiempo

4.1.6 Variables hematológicas

4.1.6.1 Hematocrito

Los datos de las lecturas del porcentaje de hematocrito fueron evaluados determinando que cumplieran con los criterios de normalidad y homocedasticidad. El análisis de varianza encontró que no existen diferencias entre los tratamientos ($p = 0.9526$, Tabla 23). El porcentaje de hematocrito no es afectado por el uso de los aditivos betaína, buclizina y espirulina; ya que las lecturas realizadas son estadísticamente iguales.

Tabla 23
Análisis de la varianza para hematocrito

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	3	0.11	0.9526
Error	29		
Total	32		

En la Figura 27 se observa que los promedios de hematocrito para los tratamientos son similares, la buclizina muestra el mayor valor con 46.17 ± 1.97 %, seguido de espirulina con 45.11 ± 2.40 %, betaína con 45 ± 1.83 % y el control con 44.44 ± 2.35 %.

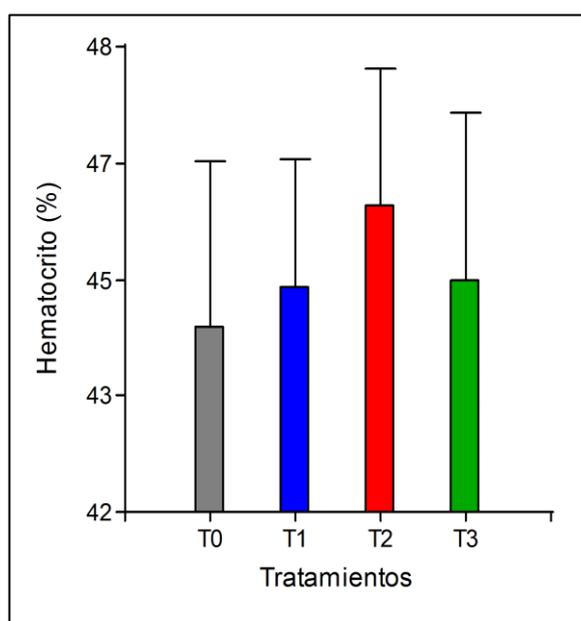


Figura 27 Promedio \pm error estándar del porcentaje de hematocrito

4.1.6.2 Conteo de glóbulos rojos

Los valores obtenidos en el conteo de glóbulos rojos cumplieron con los criterios de normalidad y homocedasticidad. El análisis de varianza mostró que no existen diferencias entre los tratamientos ($p = 0.7762$, Tabla 24), por lo cual no se afectó a este parámetro con la inclusión de los tratamientos en la dieta de los peces.

Tabla 24
Análisis de la varianza para conteo de glóbulos rojos

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	3	0.37	0.7762
Error	29		
Total	32		

La Figura 28 presenta los promedios obtenidos en el conteo de glóbulos rojos, aunque no existe diferencias estadísticas se observa que el mayor valor lo presenta buclizina y espirulina con 1.3×10^6 células/mm³, seguidos de betaína con 1.25×10^6 células/mm³ y el control con 1.24×10^6 células/mm³.

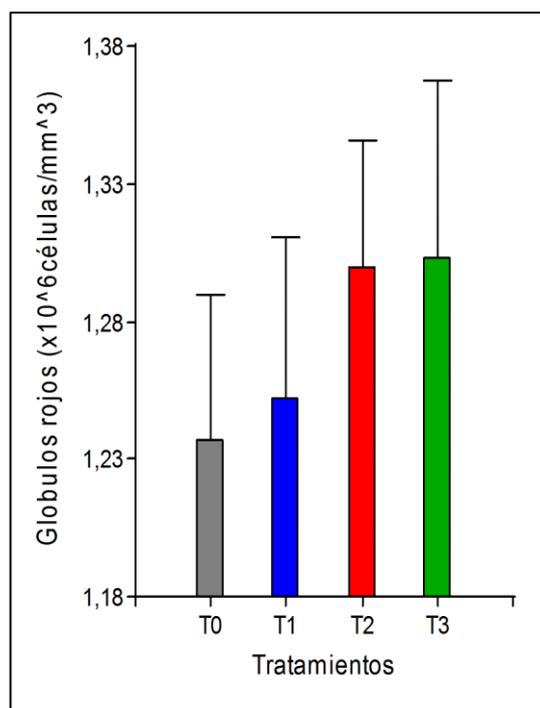


Figura 28 Promedio \pm error estándar del conteo de glóbulos rojos

4.1.6.3 Contenido de albumina en la sangre

Los supuestos de normalidad y homocedasticidad fueron comprobados previamente. El análisis de varianza no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.6208$, Tabla 25). Aunque no hay diferencias estadísticas, se observa que el contenido es numéricamente superior para el tratamiento espirulina.

Tabla 25
Análisis de la varianza para contenido de albumina en la sangre

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	3	0.60	0.6208
Error	29		
Total	32		

La Figura 29 muestra el contenido de albumina en la sangre para los tratamientos, encontrando el mayor promedio para el tratamiento de espirulina con 1.80 ± 0.13 g/dL seguido de betaína con 1.66 ± 0.18 g/dL. Los menores valores los presentan buclizina con 1.51 ± 0.21 g/dL y el control con 1.50 ± 0.21 g/dL.

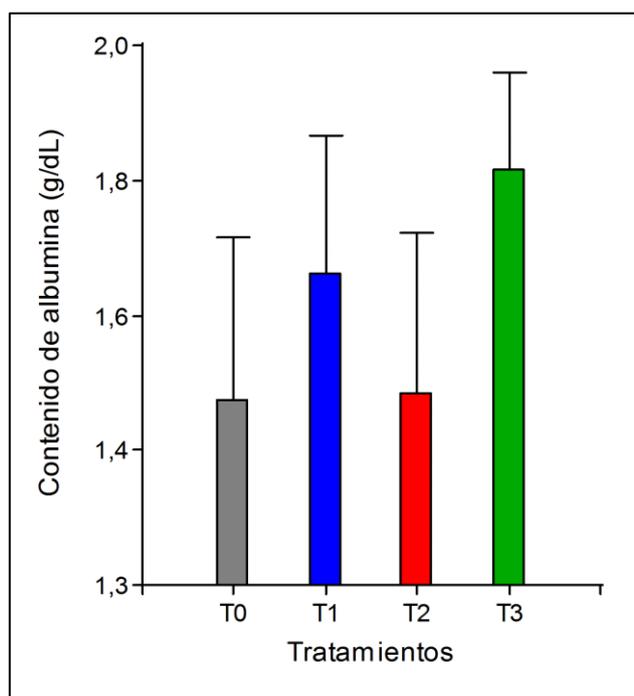


Figura 29 Promedio \pm error estándar del contenido de albumina en la sangre

4.1.6.4 Contenido de glucosa en la sangre

Los datos del contenido de glucosa en la sangre cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Mediante el análisis de varianza se determinó que no existe diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.9113$, Tabla 26).

Tabla 26

Análisis de la varianza para contenido de glucosa en la sangre

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	3	0.18	0.9113
Error	29		
Total	32		

En la Figura 30 se muestra los promedios obtenidos para el contenido de glucosa, los tratamientos correspondientes a espirulina y betaína muestran los mayores valores con 76.21 ± 5.19 y 76.75 ± 6.78 mg/dL respectivamente. Mientras que el menor valor lo presentan la buclizina con 72 ± 7.63 mg/dL y el control con 71.39 ± 6.62 mg/dL.

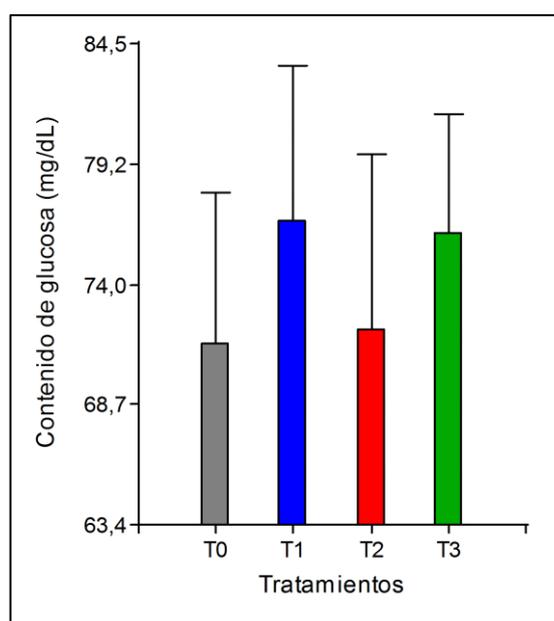


Figura 30 Promedio \pm error estándar del contenido de glucosa en la sangre

4.1.7 Análisis estadístico complementario

Debido a que no se encontró diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de variables en la etapa final del estudio, se realizó un análisis de varianza entre el mejor tratamiento correspondiente a buclizina y el control. Esto con el propósito de contribuir y esclarecer los resultados obtenidos; para tener más

fundamentos que ayuden en la definición de las conclusiones. Los análisis que presentaron diferencias estadísticas se describen a continuación.

4.1.7.1 Peso del T₀ y T₂

Los pesos de los tratamientos buclizina y espirulina cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se realizó el análisis de varianza donde se determinó diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$, Tabla 27).

Tabla 27

Análisis de la varianza para el peso de los tratamientos T₀ y T₂

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	1	12.02	< 0.0001
Error	28		
Total	41		

En la Tabla 28 se presenta los pesos obtenidos para estos tratamientos, se observa diferencias en los pesos a partir del día 40. Donde el tratamiento con adición de buclizina tiene valores superiores para esta variable, e incrementa hasta alcanzar una diferencia de 15.06 g con respecto al control en el día 60.

Tabla 28

Promedio \pm error estándar del peso (g) de los tratamientos T₀ y T₂

Tiempo (Días)	Tratamientos	
	T₀	T₂
0	64.9 \pm 1.4 i	65.73 \pm 0.84 i
10	74.07 \pm 1.08 h	73.67 \pm 0.38 h
20	80.16 \pm 1.04 g	79.07 \pm 1.29 fg
30	85.17 \pm 1.52 e	83.83 \pm 0.61 ef
40	93.53 \pm 2.07 d	102.17 \pm 2.1 c
50	102.93 \pm 0.57 c	110.6 \pm 0.21 b
60	109.03 \pm 0.65 a	124.07 \pm 2.09 b

4.1.7.2 Longitud total

Con los datos de la longitud total de los tratamientos control y buclizina se comprobó los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se realizó el análisis de varianza donde se determinó diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.0096$, Tabla 29).

Tabla 29

Análisis de la varianza para la longitud total de los tratamientos T₀ y T₂

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	1	3.55	0.0096
Error	28		
Total	41		

La Tabla 30 muestra los promedios de la longitud total, observando diferencias entre los tratamientos para los días 40, 50 y 60. Al final del estudio el tratamiento con buclizina alcanza 22.12 ± 0.03 cm mientras que el tratamiento control tiene 21.57 ± 0.18 cm.

Tabla 30

Promedio \pm error estándar de la longitud total (cm) de los tratamientos T₀ y T₂

Tiempo (Días)	Tratamientos	
	T ₀	T ₂
0	17.02 ± 0.02 h	17.2 ± 0.13 h
10	18.35 ± 0.25 fg	18 ± 0.16 gh
20	19.2 ± 0 efg	19.02 ± 0.17 ef
30	19.28 ± 0.07 ef	19.1 ± 0 e
40	20.32 ± 0.23 d	20.85 ± 0 bc
50	21.22 ± 0.13 c	21.28 ± 0.07 b
60	21.57 ± 0.18 c	22.12 ± 0.03 a

4.1.7.3 Longitud parcial del T₀ y T₂

Los datos de la longitud parcial cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. El análisis de varianza determinó diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.0086$, Tabla 31).

Tabla 31
Análisis de la varianza para la longitud parcial de los tratamientos T₀ y T₂

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	1	3.64	0.0086
Error	28		
Total	41		

La Tabla 32 muestra los promedios para los tratamientos, presentando diferencias desde el día 40 con mayor valor para buclizina.

Tabla 32
Promedio \pm error estándar de longitud parcial (cm) de los tratamientos T₀ y T₂

Tiempo (Días)	Tratamientos	
	T ₀	T ₂
0	14.98 \pm 0.07 g	15.2 \pm 0.13 g
10	15.72 \pm 0.15 f	15.75 \pm 0.15 f
20	15.82 \pm 0.1 f	15.97 \pm 0.02 ef
30	16.15 \pm 0.09 e	16.02 \pm 0.07 ef
40	16.67 \pm 0.11 d	17.37 \pm 0.19 c
50	17.68 \pm 0.12 b	17.57 \pm 0.03 bc
60	18.02 \pm 0.02 a	18.03 \pm 0.07 a

4.1.7.4 Ancho del T₀ y T₂

Para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad se transformó los datos elevándolos al cuadrado. El análisis de varianza detecto diferencias significativas ($p = 0.0029$, Tabla 33) en los días 40 y 60 del estudio.

Tabla 33
Análisis de la varianza para el ancho de los tratamientos T₀ y T₂

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	1	4.43	0.0029
Error	28		
Total	41		

La Tabla 34 presenta los resultados obtenidos para esta variable, alcanzando el mayor valor de 4.62 ± 0.08 cm en el día 40 y 4.85 ± 0.05 cm en el día 60 con el tratamiento de buclizina.

Tabla 34
Promedio \pm error estándar del ancho (cm) de los
tratamientos T₀ y T₂

Tiempo (Días)	Tratamientos	
	T ₀	T ₂
0	3.75 ± 0.03 h	3.73 ± 0.04 h
10	3.93 ± 0.02 fg	3.87 ± 0.04 gh
20	3.97 ± 0.02 efg	4.02 ± 0.03 ef
30	4.05 ± 0.03 ef	4.1 ± 0.05 e
40	4.4 ± 0.05 d	4.62 ± 0.08 bc
50	4.55 ± 0.05 c	4.7 ± 0.05 b
60	4.57 ± 0.03 c	4.85 ± 0.05 a

4.1.7.5 Tasa de crecimiento específica del T₀ y T₂

Los supuestos de normalidad y homogeneidad fueron evaluados previamente. El análisis de varianza presentó diferencias significativas para la tasa de crecimiento específico entre los tratamientos buclizina y control ($p = 0.0269$, Tabla 35).

Tabla 35
Análisis de la varianza para la tasa de crecimiento específica de los tratamientos
T₀ y T₂

Fuentes de variación	Grados de libertad	F	p - valor
Tratamiento	1	3.10	0.0269
Error	24		
Total	35		

Los promedios obtenidos se presentan en la Tabla 36. Donde se observa que buclizina alcanza el mayor valor para esta variable en el día 40, con tasa de crecimiento específica de 1.97 ± 0.24 %.

Tabla 36
Promedio \pm error estándar de la tasa de crecimiento específica (%) del tratamiento T₀ y T₂

Tiempo (Días)	Tratamientos	
	T ₀	T ₂
10	1.2 \pm 0.23 b	1.14 \pm 0.15 bc
20	0.79 \pm 0.16 bc	0.7 \pm 0.13 c
30	0.6 \pm 0.3 c	0.59 \pm 0.1 c
40	0.93 \pm 0.32 bc	1.97 \pm 0.24 a
50	0.96 \pm 0.2 bc	0.8 \pm 0.19 bc
60	0.57 \pm 0.01 c	1.15 \pm 0.18 bc

4.1.8 Análisis económico

La Tabla 37 presenta la inversión necesaria para implementar un proyecto piscícola en un área de 30 m² con terreno propio y volumen de producción de 300 kg, en dos ciclos productivos al año. En la infraestructura se consideró tanques de cemento, tuberías, drenajes y toma de agua. Para los equipos se incluyó un aireador, oxímetro, pH-metro, balanza, redes y baldes.

Tabla 37
Inversiones para el proyecto

Inversión de activos fijos			
Descripción	Precio (\$)	Vida útil (años)	Amortización (\$)
Infraestructura	905.85	25	36.32
Equipos	2840	20	142
Total	3745.85		178.32

Los costos operativos (Tabla 38) están estimados para la producción en un año, considerando que se emplearía 1.6 horas hombre para las tareas de alimentación y limpieza. En el cálculo de la proyección de la alimentación se utilizó el factor de conversión alimenticia obtenida en este estudio, evaluando el consumo total de alimento balanceado para cada tratamiento. En el caso del tratamiento correspondiente a buclizina se considera también el costo del alcohol para preparar la solución.

Tabla 38
Costos operativos del proyecto por tratamientos

Costos de producción (\$)				
Tratamientos	T₀	T₁	T₂	T₃
Descripción	Costos variables (\$)			
Alevines	140	140	140	140
Alimentación	669.6	612	536.4	622.8
Aditivos	0	76.5	167.63	233.55
Reposición de agua	24	24	24	24
Mano de obra	900	900	900	900
Total costos variables	1733.6	1752.5	1768.03	1920.35
Descripción	Costos fijos (\$)			
Arriendo	180	180	180	180
Sanidad	10	10	10	10
Luz	142.4	142.4	142.4	142.4
Amortizaciones	178.32	178.32	178.32	178.32
Total costos fijos	510.72	510.72	510.72	510.72
Total costos operativos	2244.32	2263.22	2278.75	2431.07

La Tabla 39 presenta los ingresos obtenidos como resultado de la venta de los peces faenados. Que se cosechan cuando alcanzan el peso comercial para el mercado ecuatoriano que es de 250 g.

Tabla 39
Ingresos percibidos en el proyecto

Ingresos						
Tratamiento	# peces	Peso (g)	Biomasa (kg)	Precio (\$/kg)	Ciclos	Beneficio (\$)
T₀	1000	250	250	6	2	3000
T₁	1000	250	250	6	2	3000
T₂	1000	250	250	6	2	3000
T₃	1000	250	250	6	2	3000

Para los egresos no operacionales se considera un crédito de 500 dólares y tasa de descuento del 14 %. El flujo de caja e indicadores financieros del proyecto con el uso del control se describe en la Tabla 40.

La mayor rentabilidad se obtiene con el control, ya que por cada dólar invertido se recupera 13.50 centavos en el año. Igualmente, presenta el VAN más cercano a cero y mejor beneficio/costo.

Tabla 40
Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T₀

Descripción	Flujo de caja					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos operacionales		3000	3000	3000	3000	3000
Egresos operacionales		2244.32	2334.32	2432.5	2541.68	2662.01
Utilidad antes de impuestos		755.68	665.68	566.68	458.32	337.99
Utilidad después de impuestos		566.76	499.26	425.01	343.74	253.49
Ingreso no operacional	3745.85					
Egreso no operacional		128.55	128.55	128.55	128.55	128.55
Flujo neto		438.21	370.71	296.46	215.19	124.95
TIR	14.99					
VAN	2684.03					
ROE	13.50 %					
Beneficio/costo	0.87					
Punto de equilibrio	745.09 kg					

La Tabla 41 presenta el flujo de caja e indicadores financieros del proyecto con el tratamiento betaína, recuperando 13.06 centavos al año por cada dólar invertido.

Tabla 41
Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T₁

Descripción	Flujo de caja					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos operacionales		3000	3000	3000	3000	3000
Egresos operacionales		2263.22	2353.22	2452.22	2561.12	2680.91
Utilidad antes de impuestos		736.78	646.78	547.78	438.88	319.09
Utilidad después de impuestos		552.59	485.09	410.84	329.16	239.32
Ingreso no operacional	3745.85					

Continua 

Egreso no operacional	128.55	128.55	128.55	128.55	128.55
Flujo neto	424.04	356.54	282.29	200.61	110.77
TIR	14.99				
VAN	2732.69				
ROE	13.06 %				
Beneficio/costo	0.86				
Punto de equilibrio	752.32 kg				

El flujo de caja e indicadores financieros para buclizina se describen en la Tabla 42, donde por cada dólar invertido se recupera 12.71 centavos al año.

Tabla 42
Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T₂

Descripción	Flujo de caja					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos operacionales		3000	3000	3000	3000	3000
Egresos operacionales		2278.75	2368.75	2467.75	2576.65	2696.44
Utilidad antes de impuestos		721.25	631.25	532.25	423.35	303.56
Utilidad después de impuestos		540.94	473.44	399.19	317.51	227.67
Ingreso no operacional	3745.85					
Egreso no operacional		128.55	128.55	128.55	128.55	128.55
Flujo neto		412.39	344.89	270.64	188.97	99.12
TIR	14.99					
VAN	2772.68					
ROE	12.71%					
Beneficio/costo	0.85					
Punto de equilibrio	758.30 kg					

El menor retorno se obtiene con el tratamiento espirulina. La Tabla 43 muestra el flujo de caja e indicadores financieros con este tratamiento, donde se obtiene 9.19 centavos al año por cada dólar invertido.

Tabla 43
Flujo de caja del proyecto con el tratamiento T₃

Descripción	Flujo de caja					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos operacionales		3000	3000	3000	3000	3000
Egresos operacionales		2431.07	2521.07	2620.07	2728.97	2848.76

Continua 

Utilidad antes de impuestos	568.93	478.93	379.93	271.03	151.24
Utilidad después de impuestos	426.70	359.20	284.95	203.27	113.43
Ingreso no operacional	3745.85				
Egreso no operacional	128.55	128.55	128.55	128.55	128.55
Flujo neto	298.15	230.65	156.40	74.73	-15.12
TIR	14.99				
VAN	3164.88				
ROE	9.19 %				
Beneficio/costo	0.82				
Punto de equilibrio	819.20 kg				

4.1.9 Histología

Previo a la extracción de las muestras de tejido hepático, se valoró la anatomía externa del hígado sin encontrar lesiones o indicios de deterioro del órgano. Tampoco se halló anomalías en la coloración y consistencia que sugieran presencia de enfermedades.

En la Figura 31 se presenta las fotografías de los cortes histológicos del hígado, realizados a tres peces por tratamiento. Se observó en el microscopio óptico con aumento de 100x, para analizar cualitativamente la anatomía histológica de cada muestra. Esto permitió comparar las imágenes obtenidas con las de otros autores e identificar posibles lesiones.

Los cortes histológicos correspondientes a los tratamientos control y betaína no presentan daño hepático a nivel de hepatocitos ni conductos biliares, la distribución es glomerular y en cordones periféricos. Mientras que las placas de los tratamientos con buclizina y espirulina muestran alteraciones en la disposición, forma y tamaño de las células hepáticas. Se observa dilatación en las paredes sinusoidales que rodean a los hepatocitos y presencia de vacuolas con bordes definidos que ocupan gran parte del parénquima hepático.

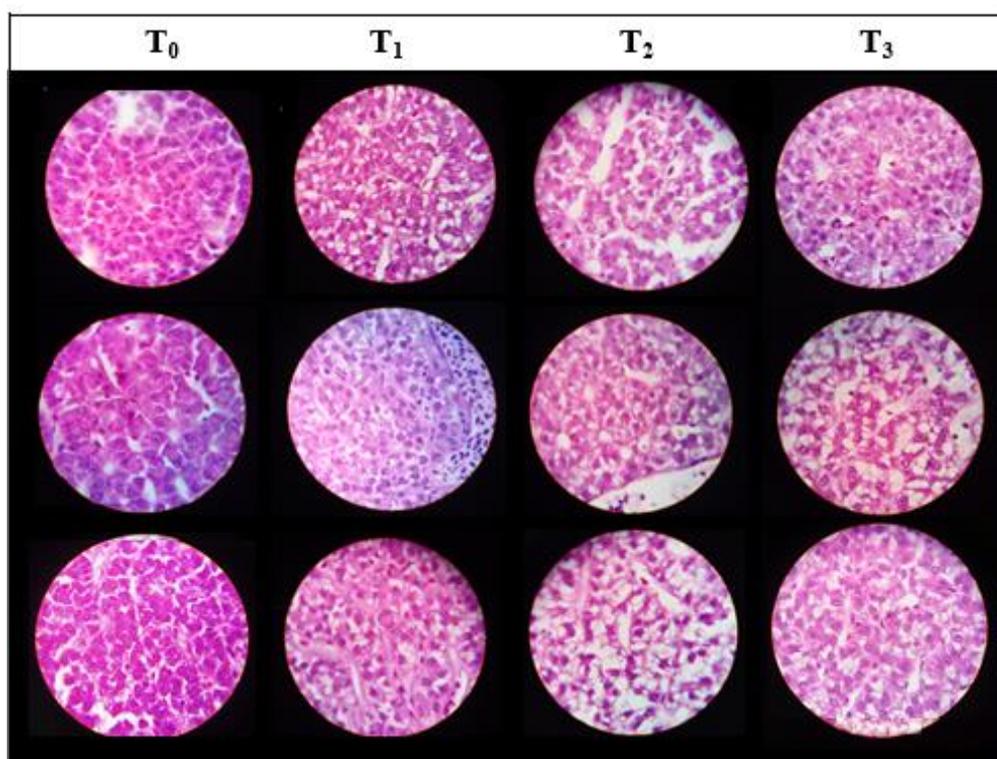


Figura 31 Tejido hepático de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) bajo el efecto de tres aditivos alimenticios aumento 100x

4.2. Discusión

4.2.1 Prueba de estabilidad del alimento

La prueba de estabilidad del alimento determinada mediante la capacidad de retención de materia seca obtuvo resultados similares en la hidroestabilidad de los pellets. Este es un indicativo de propiedades físicas y químicas del balanceado, que permite controlar la uniformidad de las dietas y métodos productivos (Bortone, 2002). El resultado conseguido indica que el proceso empleado para la inclusión de los aditivos en este estudio mantiene la calidad final, con igual desempeño de los tratamientos en el agua. Por lo cual, no hubo influencia de este factor sobre la preferencia en el consumo de alimento.

Según Cruz, y otros (2006) este parámetro es influenciado por la calidad de los ingredientes, propiedades funcionales, el procesamiento y contenido de aglutinantes. La metodología que se empleó mantuvo la integridad del pellet, esto debido a la adición de la solución de gelatina; que mejora la estabilidad física del alimento actuando como aglutinante. Molina (2003) evaluó la estabilidad física de

dietas para camarón mediante esta metodología y menciona que el uso de gelatina mantuvo la retención de materia seca de dietas inmersas en el agua durante 3 horas.

Al obtener valores cercanos en la hidroestabilidad de todos los tratamientos, se puede atribuir la respuesta de los peces a la composición del alimento, ya que no existen pérdidas de nutrimentos debido a lixiviación (Ceballos, Civera, Villareal, Galindo, & Pérez, 2007).

4.2.2 Prueba de toxicidad de aditivos con el modelo biológico *Artemia salina*

El uso de *Artemia salina* en el desarrollo de pruebas toxicológicas resulta práctico y económico para determinar el efecto de productos sintéticos o naturales sobre biota acuática (Pino & Lazo, 2010). Se ha utilizado para la evaluación de sustancias químicas, farmacéuticas y extractos de plantas; incluidas microalgas (González & Aportella, 2001). Sin embargo, no se encontró información relevante acerca de pruebas de biotoxicidad con especies acuáticas para los aditivos empleados en este estudio. Por lo cual se tomó como referencia ensayos desarrollados en otras especies.

Pruebas toxicológicas con clorhidrato de buclizina indican que posiblemente tenga potencial teratógeno al suministrarse durante la gestación en humanos (Govantes, Fernández, & Govantes, 1999), según la British Pharmacopoeia Commission (2013) tiene una dosis letal media de 2100 ppm suministrada en ratones por vía oral.

Para el clorhidrato de betaína la dosis letal media en ratones es 8000 ppm por vía subcutánea (Rotzsch, Lorenz, & Strack, 1959) y se clasifica como sustancia escasamente peligrosa para organismos acuáticos (Aeasar, 2015). Junto con esto, han sido evaluadas dosis de hasta 4000 ppm en ratas, presentando daños reversibles con presencia de hepatomegalia, daño microvascular, reducción del volumen corpuscular medio en hematíes y menor concentración de hemoglobina (Martinez, y otros, 2014).

La toxicidad de extractos de harina de espirulina ha sido probada en ratones suizos, con dosis de 6 ppt (partes por mil) sin encontrar daños en los órganos internos (Hutadilok, Reanmongkol, & Panichayupakaranant, 2010). Igualmente, Chamorro, Salazar, Favila & Bourges (1996) mencionan que el consumo de esta microalga es relativamente seguro inclusive para humanos, ya que estudios previos desarrollados en ratones no presentan efectos nocivos con su consumo prolongado.

4.2.3 Prueba de capacidad de consumo de alimento

La prueba de capacidad de consumo de alimento no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, aunque es importante destacar que tampoco hubo reducción en la ingesta de la dieta. Esto concuerda con el ensayo realizado por Tiril, Alagil, Yagci, & Aral (2008) con trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), donde evaluaron una dieta comercial con harina de pescado, una dieta basal con proteína de origen vegetal y otra dieta con la inclusión de 1.5 % de betaína a la dieta basal. Obtuvieron el mejor consumo de las dietas con proteína vegetal al incluir betaína. Sin embargo, al comparar el consumo de la dieta con betaína frente a la dieta basada en harina de pescado no hubo diferencias estadísticas.

Pokniak (2007) tuvo un resultado similar con la adición de espirulina en alevines de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), menciona que el consumo de alimento se mantiene; ya que las dietas son isoenergéticas y este es un factor importante en el consumo de alimento por parte de los peces. Por otra parte, Hendrik (2004) evaluó la inclusión de espirulina en el rendimiento y pigmentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en dosis de hasta 10%. Determinando que la inclusión de espirulina no presenta diferencias significativas en el consumo de alimento, pero en niveles superiores a 2.5 % reduce la palatabilidad del balanceado.

Esto contrasta con los resultados obtenidos para otras especies acuícolas como el bagre (Shawkat, 2014), camarón (Ceballos, Civera, Villareal, Galindo, & Pérez, 2007) y carpa (Abdulrahman, 2014), donde los resultados en el consumo son positivos. Cabe señalar que estas especies tienen comportamiento alimenticio omnívoro.

No se encontró literatura que incluya a buclizina en alimentación para peces, existe más información que analiza su uso en salud humana. No obstante, Balseca (2015) evaluó buclizina en nutrición de cuyes en etapa de engorde, determinando que no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Y destaca la importancia de validar los conocimientos acerca de buclizina, mediante pruebas que incluyan varias dosis.

4.2.4 Variables morfométricas

En los pesos obtenidos durante el estudio se observa diferencias con el uso de aditivos en el día 60, presentando mayor promedio. Junto con esto, existió

diferencias para el ancho y longitud total con el tratamiento correspondiente a buclizina. Al realizar el análisis estadístico únicamente entre el tratamiento buclizina y control, se detectó diferencias en el peso, longitud total y ancho al final del ensayo; y para el día 40 en las variables longitud parcial y tasa de crecimiento específico.

En las tendencias graficadas para las variables morfométricas se observa incremento significativo en los promedios de la buclizina al día 40. Esto se atribuye a que el método de inclusión del aditivo fue modificado, empleando alcohol como solvente debido a la poca solubilidad de la buclizina en agua.

Estudios relacionados desarrollados en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) con el uso de espirulina, no encuentran diferencias significativas para variables morfométricas, contrastando con lo encontrado en esta investigación. Sin embargo, destacan que el uso de esta microalga es viable para ser incluida en la dieta de salmónidos en concentraciones superiores al 10 % (Hendrik, 2004).

Por otra parte, la betaína ha sido reportada como un atrayente efectivo en salmónidos, ya que es un aminoácido presente en la mayoría de organismos acuáticos (Guerrin, 2000). Castro, Battaglia, & Virtanen (1998) mencionan que la adición de betaína mejora significativamente el crecimiento y por ende el peso obtenido en salmónidos.

La buclizina generó el mayor peso y ancho al ser comparado con los otros tratamientos, este efecto puede atribuirse a la capacidad no hormonal de la estimulación del apetito que genera al actuar sobre la secreción de serotonina (Cervino citado por Balseca, 2015). Pero Balseca (2015) evaluó su inclusión en dietas para cuyes, encontrando que no hay diferencias para la ganancia de peso y el peso final.

4.2.5 Variables productivas

No hubo diferencias para las variables productivas entre tratamientos. Esto concuerda con lo expuesto por Hernández, Hernández, Fernández, & López (2012) que evaluaron niveles de reemplazo de proteína por harina de espirulina en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), sin encontrar diferencias para los tratamientos en la tasa de crecimiento específica y tasa de conversión alimenticia. Igualmente, Hendrik (2004) menciona que con niveles de inclusión de espirulina de hasta 10 % no se observan diferencias para estas variables, pero si hay cambios en la pigmentación del

pez. Los resultados difieren de lo ocurrido en tilapia, donde la suplementación con espirulina optimiza los factores productivos (Abdulrahman, 2014).

En el caso de la betaína los resultados obtenidos difieren con lo expuesto por Castro, Battaglia, & Virtanen (1998) que emplearon 1 % de betaína mas proteína hidrolizada en salmónidos; determinando mejoras en la tasa de crecimiento específica y factor de conversión alimenticia. Igualmente, Guerrin (2000) menciona que la betaína mejora el crecimiento y conversión alimenticia con su aplicación en dietas comerciales.

Los promedios del índice de condición corporal se redujeron en los 30 primeros días del ensayo y luego se estabilizaron. Esta reducción concuerda con el ensayo de Normandes, Barreto, Carvalho, & Delicio (2006), quienes reportan que el uso de betaína en alimentación del pez *Leporinus macrocephalus* produjo menor índice de condición con dosis de 0.36 % y 0.7 %. Este índice es un indicativo del bienestar de los peces o sus poblaciones, fundamentados en que los peces con mayor peso a una determinada longitud presentan mejor condición (Froese, 2006). Además, la reducción ocurrida en este factor puede atribuirse al confinamiento en jaulas, ya que la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez territorial que mantiene jerarquías según su tamaño (Castro, Forero, & Guillot, 2004).

También es necesario considerar que el tipo de procesamiento de la dieta influye sobre la condición corporal. Esto es corroborado por Aguilar, Afanador, & Muñoz (2010) quienes evaluaron dos métodos de procesamiento de alimento, obteniendo valores de condición corporal menores a los reportados normalmente.

4.2.6 Variables hematológicas

Las variables hematológicas se mantuvieron dentro de los parámetros normales para el cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Los promedios del conteo de glóbulos rojos son similares a los obtenidos para peces juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), como los reportados por Rodríguez (1995) que encontró 1.4×10^6 células/mm³ y Yasutake & Wales (1983) con 1.02×10^6 células/mm³. Los promedios para hematocrito concuerdan con los conseguidos por Buenaño (2010) con trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) juvenil, determinando 44.77 % como valor normal.

El contenido de glucosa y albumina está en valores normales determinados por Manera & Britti (2006) quienes indican que el contenido de glucosa para análisis de química sanguínea en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) debe ser menor a 239.29 mg/dL. Mientras que para la albumina los valores normales (Manera & Britti, 2006) se encuentran hasta los 2.06 g/Dl, en este estudio los promedios obtenidos se encuentran dentro de este rango.

El uso de espirulina presentó valor superior sin diferencias significativas en el contenido de albumina, respecto a los demás tratamientos. Esto puede atribuirse a la mayor concentración de proteína en la sangre que genera el consumo de esta microalga (Hernández, Hernández, Fernández, & López, 2012).

4.2.7 Histología

Se tomó al hígado como órgano de referencia para determinar daños provocados por factores alimenticios. Ya que este es el encargado de procesos de anabolismo y catabolismo de los nutrientes que se ingieren (Blanco, 1995). Las muestras se analizaron según la descripción histológica de hígado de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) realizado por Arias & Poblete (1996). Los tratamientos con buclizina y espirulina presentan variaciones en la estructura de las células hepáticas, con alteraciones en la conformación visual de los cordones de hepatocitos. Además, exhiben dilatación sinusoidal y vacuolización lipídica. Esto ocurre cuando las vacuolas ocupan mayor espacio en el parénquima hepático, provocando distensión de los hepatocitos (Rosenthal, Sandoval, Gavidia, & Tabacchi, 2013).

Una de las causas para el daño de los hepatocitos en el tratamiento con espirulina, podría asociarse a la menor digestibilidad de la dieta en comparación a las de harina de pescado (Pokniak, 2007). Junto con cambios en el transporte y metabolismo de la grasa debido a la fuente lipídica de la dieta (Caballero, y otros, 2002). Aunque el contenido de lípidos hepáticos presenta tendencia a la reducción con el uso de espirulina en trucha arco iris (Hendrik, 2004).

La betaína no muestra daño en el hígado, ya que actúa atenuando el estrés oxidativo y sirve como donador de metilo en el ciclo de la metionina (Tirosh, 2015). En humanos se recomienda su uso en casos de daño hepático, porque mejora la bioquímica e histología de pacientes reduciendo la inflamación y fibrosis (Abdelmalek, Angulo, Jorgensen, & Sylvestre, 2001).

4.2.8 Análisis económico

Se determinó el flujo de caja para cada tratamiento, determinando los ingresos y costos operativos para cinco años. Pero al considerar que los volúmenes de producción utilizados en este estudio representan condiciones experimentales, se infirió los costos hacia una producción con 1000 peces bajo condiciones normales de cultivo.

Los indicadores financieros muestran que el tratamiento control tiene el mejor rendimiento económico, ya que presenta el mayor valor ROE con 13.50 %. Igualmente, el beneficio/costo es superior frente a los demás tratamientos. Según Pokniak (2007) este efecto se debe a que el uso de aditivos alimenticios en dietas de peces depende también de su costo y disponibilidad en el mercado.

El tratamiento con inclusión de espirulina resultó ser el más caro, coincidiendo con los resultados de Díaz & León (2014) que evaluaron niveles de inclusión de espirulina obteniendo mayor gasto en alimentación debido al precio de la microalga en polvo. Mientras que la dieta con adición de buclizina incrementó su costo por el uso de alcohol en su elaboración. Junto con esto, Léniz (2016) señala que la evaluación experimental de aditivos para salmónidos es de alto costo, ya que influyen factores como la dosis, el tiempo y el efecto sobre los peces.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La inclusión de los aditivos alimenticios betaína, buclizina y espirulina mantuvo la capacidad de ingesta de dietas balanceadas para trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde.
- La eficiencia alimenticia obtenida con la inclusión de aditivos no presentó diferencias significativas. Pero el uso de buclizina alcanzó el mayor peso (124.07 ± 3.62 g) y ancho corporal final (4.85 ± 0.09 cm). Igualmente, betaína (118.47 ± 5.12 g) y espirulina (116.17 ± 3.81 g) mejoraron el promedio de las variables morfométricas evaluadas.
- El ensayo de toxicidad mediante el modelo biológico *Artemia salina* determinó que los aditivos buclizina y betaína corresponden a la categoría toxicológica de moderadamente tóxicos, el aditivo espirulina se clasifica como ligeramente tóxico.
- No hubo respuestas adversas en el análisis sanguíneo por la inclusión de aditivos alimenticios, las variables evaluadas se hallaron dentro de los valores normales para la especie.
- Los cortes histológicos del hígado presentaron alteración en los hepatocitos correspondientes a los tratamientos buclizina y espirulina.
- El análisis económico determinó que el mejor rendimiento económico se obtuvo con el control, debido al mayor costo y poca disponibilidad de los aditivos en el mercado.

5.2 Recomendaciones

- Para mantener una mezcla homogénea de buclizina con el alimento es necesario disolver la dosis en alcohol potable para facilitar la adición, empleando 700 ml/kg de alimento. Ya que este aditivo presenta poca solubilidad en el agua.
- Considerando que las variables productivas no mostraron diferencias estadísticas, se recomienda evaluar distintas concentraciones de los aditivos para determinar dosis efectivas.
- El contenido nutricional, la humedad y microbiología del alimento con aditivos deben ser verificados, para evitar que estos factores influyan en los resultados.

5.3 Bibliografía

- Abdelmalek, M., Angulo, P., Jorgensen, R., & Sylvestre, P. L. (2001). Betaine a promising new agent for patients with nonalcoholic steatohepatitis, results of a pilot study. *American Journal of Gastroenterology*, 2711 - 2717.
- Abdulrahman, N. (2014). Evaluation of Spirulina spp. as food supplement and its effect on growth performance of common carp fingerlings. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 89-92.
- Aeasar, A. (09 de 11 de 2015). *Ficha de de datos de seguridad Betaine anhydrous*.
Obtenido de
<https://www.alfa.com/es/content/msds/SouthAmerican/B24397.pdf>
- Aguilar, F., Afanador, G., & Muños, A. (2010). Efecto del procesamiento de la dieta sobre el desempeño productivo de tilapia nilotica en un ciclo comercial de producción. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 104 - 118.
- Alaye, N., & Morales, J. (2013). Parámetros hematológicos y células sanguíneas de organismos juveniles del pescado blanco (*Chirostoma estor*) cultivados en Pátzcuaro, Michoacán, México. *Hidrobiológica*, 340-347.
- Alp, T. (2012). The use and misuse of serum albumin as a nutritional markwe in kidney disease. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 1375 - 1377.
- Alvarez, F., Tamez, E., & Montemayor, J. (2013). Parámetros hemáticos en tres especies de peces en condiciones de desnutrición. *Revista Iberoamericana para la Investigación y Desarrollo educativo*.
- Alvis, G. (2006). *La hematología como herramienta indicadora de la salud en los peces*. Obtenido de Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola: <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1612>
- Araya, E., Madrigal, J., Méndez, M., & Picado, C. (2014). *Cultivo de trucha en estanques de tierra*. Obtenido de INAGROP:
<http://www.ina.ac.cr/agropecuaria/boletin%203%20INA2014.PDF>
- Arias, V., & Poblete, M. (1996). Descripción histológica y ultraestructural comparada del hígado de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) silvestre y cultivada. *Avances en Ciencias Veterinarias*.

- Balseca, D. (2015). *Evaluación de buclizina en la alimentación de cuyes durante la etapa de engorde en el centro experimental Uyumbicho*. Obtenido de Repositorio Universidad Central del Ecuador:
<http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/6963/1/T-UCE-0014-051.pdf>
- Barnhart, R. (1969). Effects of certain variables on haematological characteristics of rainbow trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 441-418.
- Bastardo, H., Infante, O., & Segnini, S. (1994). Hábitos alimenticios de la trucha arco iris en una quebrada altiandina venezolana. *Revista de Biología Tropical*, 685-693.
- Bioinnova. (2016). *Anatomía de un vertebrado, trucha arco iris*. Obtenido de Grupo de Innovación sobre la Docencia en Diversidad Biológica:
<http://www.innovabiologia.com/biodiversidad/diversidad-animal/anatomia-oncorhynchus-mykiss/>
- Blanco, C. (1995). *La trucha cría industrial*. Madrid: Mundi Prensa.
- Bortone, E. (2002). Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidroestables para camarones. En L. Suárez, D. Ricque, M. Tapia, M. Garciola, & N. Simoes, *Avances en nutrición acuícola VI* (págs. 407-437). Cancún: Universidad de Nuevo León.
- Buenaño, M. (2010). Hemograma de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en tres etapas de producción en la cuenca alta de la provincia del Napo, Ecuador. *Serie Zoológica*, 1-14.
- Caamaño, R. (2006). *La serotonina periférica, contribución a la homeostasis de la glucosa en la trucha arco iris*. Obtenido de Dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=109130>
- Caballero, M., Obach, A., Rosenlund, G., Montero, D., Gisvold, M., & Izquierdo, M. (2002). Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid, digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout. *Aquaculture*, 253 - 271.
- Calderón, R. (2010). *Evaluación de la digestibilidad y desempeño en salmón del atlántico salmo salar (Linnaeus, 1758), utilizando dietas con diferentes*

- niveles de proteína*. Obtenido de Repositorio Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bpmfpc146e/doc/bpmfpc146e.pdf>
- Castelló, F. (1993). *Acuicultura marina: fundamento biológicos y tecnología de la producción*. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona.
- Castello, F. (2000). *Alimentos y estrategias de alimentación para reproductores y juveniles de peces marinos*. Obtenido de Nutrición acuicola: http://universidad.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/IV/archivos/34castl2.pdf
- Castro, A., Forero, E., & Guillot, G. (2004). Algunos aspectos bioecologicos de la trucha arco iris en el embalse Pantano Redondo Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana*.
- Castro, E., & Avilia, L. (1994). *Aminoácidos esenciales*. México: FAO.
- Castro, H., Battaglia, J., & Virtanen, E. (1998). Effects of FinnStim on growth and sea water adaptation of Coho salmon. *Aquaculture*, 423 - 429.
- Ceballos, J., Civera, R., Villareal, H., Galindo, J., & Pérez, L. (2007). Uso de *Spirulina platensis* como atrayente en el aliemnto para el camarón *Litopenaeus schmitti*. *Hidrobiológica*, 113-117.
- Chamorro, G., Salazar, M., Favila, L., & Bourges, H. (1996). Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. *Revista de Investigaciones Clinicas*, 389 - 399.
- Cifuentes, R., Gonzales, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana Especial*, 101-110.
- Crivelenti, L., Borín, S., Socha, J., & Mundim, A. (2011). Valores bioquímicos séricos de tilapia del nilo en cultivo intensivo. *Revista de Investigaciones Veterinarias de Perú*.
- Cruz, L., Ruiz, P., Cota, E., Nieto, M., Guajardo, C., Tapia, M., . . . Ricque, D. (2006). *Revisión sobre algunas características físicas y control de calidad de aliemntos comerciales para camarón en México*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Curtis, E., Sue, N., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Curtis Biología*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

- De la Oliva, G. (2011). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el cultivo de trucha arco iris*. Obtenido de <http://www.perucam.com/presen/pdf/19.%20Manual%20Buenas%20Pr%20E1c%20ticas%20Acu%20EDcolas%20en%20el%20cultivo%20de%20la%20trucha%20Arco%20Iris.pdf>
- Díaz, A., Pérez, H., de la Cruz, T., Quincosa, J., & Sánchez, A. (2009). *Fisiología animal aplicada*. (Oncorhynchus mykiss): Editorial Universidad de Antioquia.
- Díaz, J., & León, J. (2014). *Utilización de espirulina en la alimentación de alevinos de trucha arco iris*. Obtenido de Repositorio Universidad de La Salle: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17687/13091004_2014.pdf?sequence=3
- Ellis, T., Yildiz, H., López, J., Spedicato, M., Tort, L., Overli, O., & Martins, C. (2012). Cortisol and finfish welfare. *Fish physiology and biochemistry*, 163 - 188.
- FAO. (2005). *Programa de información de especies acuáticas*. Obtenido de Oncorhynchus mykiss: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es
- FAO. (2014). *Manual práctico para el cultivo de la trucha arco iris*. Guatemala: FAO.
- FAO. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: FAO.
- FAO. (2017). *Rainbow trout*. Obtenido de Sistema de información sobre alimentos y recursos fertilizantes para la acuicultura: <http://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/rainbow-trout/rainbow-trout-home/es/>
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight length relationships, history, meta analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichtiology*, 241 - 253.
- Fuhrman, P., Charney, P., & Mueller, C. (2004). Hepatic proteins and nutrition assessment. *Journal of the American Dietetic Association*, 1258 - 1264.
- Galindo, J. (2007). Atrayentes. En T. García, H. Villareal, & J. Fenucci, *Manual de ingredientes proteicos y aditivos empleados en la formulación de alimentos*

- balanceados para camarones peneidos* (págs. 206-2011). Mar del Plata: Editorial Universitaria de Mar del Plata.
- Gallaugher, P., & Farrell, A. (1998). Hematocrit and blood oxygen carryin capacity. En S. Perry, & B. Tufts, *Fish Respiration* (págs. 185 - 227). 185 - 227.
- García, I. (1995). Aspectos metodológicos para análisis financiero en la piscicultura. *Universidad de Córdoba*, 53-67.
- García, M. (2013). *La biomasa algal y sus uso en la alimentación animal y humana*. Obtenido de CO2 Algaefix: <https://www.co2algaefix.es/?q=node/85>
- Gonzáles, Y., & Aportella, P. (2001). Determinación de la toxicidad aguda del dicromato de potasio en larvas de Artemis salina. *Anuario Toxicología*, 104-108.
- Govantes, J., Fernández, P., & Govantes, C. (1999). *Manual Normon*. Madrid: Laboratorios Normon.
- Guerrin, M. (2000). Uso de betaína en alimentos acuícolas, atractante, osmoregulador o metabolito lipotrófico . En R. Civera, C. Pérez, D. Ricque, & L. Suarez, *Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola* (págs. 492-508). Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León
- Hendrik, S. (2004). *Evaluation of spirulina on the performance and pigmentation of rainbow trout*. Obtenido de Stellenbosch University Library: <http://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/20905>
- Hernández, G., Hernández, L., Fernández, M., & López, O. (2012). Effects of total replacement of fishmeal with spirulina powder and soybean meal on juveniles rainbow trout. *The Isaraeli Journal of Aquaculture*, 790 - 798.
- Hernández, J. (2015). *Hábitos alimentarios de la trucha común*. Obtenido de Federpesca: <http://www.federpesca.com/habitos-alimentarios-de-la-trucha-comun/>
- Hill, R., Wyse, G., & Anderson, M. (2006). *Fisiología animal*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- HUMAN. (2005). *Albumin liquicolor*. Obtenido de <http://www.bganalizadores.com.ar/img/inserto3.pdf>

- HUMAN. (2005). *Glucose liquicolor*. Obtenido de <http://www.bganalizadores.com.ar/img/inserto60.pdf>
- Hutadilok, N., Reanmongkol, W., & Panichayupakaranant, P. (2010). Evaluation of the toxicity of *Arthrospira platensis* extract. *Journal of Applied Phycology*, 599-605.
- Jacumar. (2009). *Trucha Arco iris*. Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/app/jacumar/especies/Documentos/Trucha.pdf>
- Kar, A. (2005). *Medicinal Chemistry*. Delhi: New Agen International Publishers.
- Léniz, P. (2016). *La constante preocupación por la calidad de los insumos para el alimento del salmón*. Obtenido de Mundo acuícola: <http://www.mundoacuicola.cl/?/revista/421/la-constante-preocupacion-por-la-calidad-de-los-insumos-para-el-alimento-del-salmon/1>
- Maiz, A., Valero, L., & Briceño, D. (2010). *Elementos prácticos para la cría de trucha en venezuela*. Obtenido de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/137-truchas.pdf
- Mallya, Y. (2012). *Los efectos del oxígeno disuelto en el crecimiento de los peces*. Obtenido de AQUAFEED: <http://www.aquafeed.co/los-efectos-del-oxigeno-disuelto-en-el-crecimiento-de-los-peces-en-la-acuicultura/>
- Manera, M., & Britti, D. (2006). Assessment of blood chemistry normal ranges in rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 1427-1434.
- Martinez, E., Font, G., Martinez, M., Pico, C. R., Hardisson, A., Nerin, C., & Marti, A. (2014). *Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición sobre condiciones de uso de determinadas sustancias para ser empleadas en complementos alimenticios 3*. Madrid: Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición.
- Marui, T., Evans, R., Zielinski, B., & Toshiaki, H. (1983). Gustatory responses of the rainbow trout *Salmo gairdneri* palate to amino acids and derivatives. *Journal of Comparative Physiology*, 423-433.
- Meschkat, A. (1975). *Informe al gobierno del Ecuador sobre pesca continental y piscicultura*. Roma: FAO.
- Molina, C. (2003). *Insumos con propiedades aglutinantes*. Guayaquil: CENAIME-ESPOL.

- Molina, C. (2004). *Producción y comercialización de trucha arcoiris para exportación*. Obtenido de Repositorio Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/872>
- Montemayor, J., Mendoza, R., Aguilera, C., & Rodríguez, G. (2005). Moléculas sintéticas y extractos animales y vegetales como atractantes alimenticios para el camarón blanco. *Aquatic*, 1-10.
- Moreno, M. (2000). *Guía para el cultivo de trucha*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente.
- Mostafa, G., & Al-Badr, A. (2011). Buclizine. *Profiles of drugs substances, excipients and related methodology*, 1-33.
- Muñoz, D. (2008). Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/668>
- Muñoz, P., Mardones, O., Vargas, L., & Gesto, M. (2015). *Estrés en peces: respuesta fisiológica y sus implicaciones en el cultivo de salmónidos*. Obtenido de Salmonexpert: <http://www.salmonexpert.cl/noticias/estres-en-peces-respuesta-fisiologica-y-sus-implicaciones-en-el-cultivo-de-salmonidos/>
- NevoxFarma. (2016). *Dietrex*. Obtenido de Vademecum: <http://co.mivademedecum.com/medicamento-dietrex-id-8228>
- Nicovita. (Abril de 1998). *La betaína en la alimentación de organismos acuáticos*. Obtenido de http://www.nicovita.com.pe/extranet/Boletines/abr_98_04.pdf
- Normandes, E., Barreto, R., Carvalho, R., & Delicio, H. (2006). Effects of betaine on the growth of the fish piaucu, *Leporinus macrocephalus*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 757 - 762.
- Oikawa, C., & March, B. (1997). Communications: A method for assessment of the efficacy of feed attractants for fish. *The Progressive Fish Culturist*, 213-217.
- Ortiz, J. (2015). Reproducción de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Producción dulce acuícola en el Ecuador I*, 32.
- Ortiz, J., & Muñoz, D. (2014). Obtenido de Acuicultura continental: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbm9hY3VhY3VsdHVyYWp1YW5vcnRpenxneDoyMDY5NmJmNjg1ZjBiNzNi>
- Palacios, R., & Ortega, A. (1993). *Nutrición de peces comerciales en estanques*. México D.F.: LIMUSA.

- Pharmacopoeia, B. (2013). *Safety data sheet of Buclizine hydrochloride impurity standard*. London: British Pharmacopoeia Commission.
- Pino, O., & Lazo, F. (2010). Ensayo de Artemia: útil herramienta de trabajo para ecotoxicologas y químicos de productos naturales. *Revista Protección Vegetal*, 34 - 43.
- Planas, J. (2005). Quimiorrecepción. En J. Palacios, & T. Pages, *Fisiología animal* (págs. 61-66). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Pokniak, J. (2007). Incorporación de espirulina en dietas para alevines de trucha arcoiris. *Avances en ciencias veterinarias*, 37-41.
- Polat, A., & Beklevik, G. (1999). The importance of betaine and some attractive substances as fish feed additives. *Options Mediterraneennes*, 217-220.
- Ridolfi, K. (2006). *Animal diversity web*. Obtenido de Museum of Zoology of University of Michigan:
http://animaldiversity.org/accounts/Oncorhynchus_mykiss/
- Rincón, D., Velásquez, H., Dávila, M., Semprun, A., Morales, E., & Hernández, J. (2012). Niveles de sustitución de harina de pescado por harina de *Arthrospira maxima*, endietas experimentales para alevines de tilapia roja. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 430-437.
- Rodriguez, A. (1995). Determinación de algunos aspectos hematológicos de *Oncorhynchus mykiss* en Cundinamarca, Colombia . *Revista de Biología Tropical*, 283-288.
- Rojas, P. (2005). *Efecto de la dieta sobre niveles plasmáticos de insulina y glucagon en trucha arcoiris y dorada y caracterización del transportador de glucosa de dorada*. Obtenido de Repositorio Universitat de Barcelona:
http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/41747/1/TESIS_PABLO_ROJAS.pdf
- Rosenthal, S., Sandoval, N., Gavidia, C., & Tabacchi, L. (2013). Frecuencia de lipidosis hepática en trucha arco iris de fase juvenil en una piscigranja de la sierra central del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias Perú*, 118-124.

- Rotzsch, W., Lorenz, I., & Strack, E. (1959). Toxicity of carnitine and some related substances. *Acta biologica et medica Germanica*, 28-36. Obtenido de ChemIDplus.
- Rudneva, I. (2013). *Biomarkers for stress in fish embryos and larvae*. Sevastopol: CRC Press.
- Salinas, I. (17 de junio de 2015). *El sistema inmunológico de los salmónidos y el potencial de las vacunas nasales*. Obtenido de Salmoexpert: <http://www.salmonexpert.cl/noticias/el-sistema-inmunolgico-olfativo-de-los-salmnidos-y-el-potencial-de-las-vacunas-nasales-en-salmonicultura/>
- Sánchez, L., & Neira, A. (2005). Bioensayo general de letalidad en Artemis salina, a las fracciones del extracto etanólico de Psidium guajava y Psidium guineense. *Cultura científica*, 40-45.
- Sanz, A., Matinez, R., Hidalgo, M., Domezain, J., Morales, A., & García, M. (2003). *Constantes eritrocitarias en peces de cultivo intensivo en agua dulce estudio comparado*. Cádiz: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- Sanz, F. (2009). *La nutrición y alimentación en piscicultura*. Madrid: Fundación Observatorio Español de Acuicultura.
- Satou, M., & Ueda, K. (1975). Spectral analysis of olfactory responses to amino acids in rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 359-365.
- Shawkat, A. (2014). *Evaluation of the effects of feed attractants (Apitulina and ekangi) on growth performance, feed utilization and body composition of fingerlings of stinging cat fish*. Obtenido de Repositorio Universidad de Dhaka: <http://repository.library.du.ac.bd/xmlui/handle/123456789/494>
- Silva, M., & García, M. (2004). *Manual del técnico superior de laboratoriode análisis clínicos*. Sevilla: Editorial MAD.
- Silva-Neto, J., Sabry, H., & Carmo, M. (2012). Spirulina meal has acted as a strong feeding attractant for *Litopenaeusvannamei* at a very low dietary inclusión level. *Aquaculture research*, 430-437.
- Society, A. F. (2004). *Guidelines for the Use of Fishes in Research*. Bethesda: American Fisheries Society.

- Tacon, A. (1995). *Ictiopatología nutricional*. Brasilia: FAO.
- Tiril, S., Alagil, F., Yagci, F., & Aral, O. (2008). Effects of betaine supplementation in plant protein based diets on feed intake and growth performance in rainbow trout. *The Israeli Journal of Aquaculture*, 57-64.
- Tirosh, O. (2015). *Liver metabolism and fatty liver disease*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Toledo, M. (1994). Calidad física y química de los alimentos para peces y su importancia en el cultivo de peces. En E. Castro, *Control de calidad de insumos y dietas acuícolas*. FAO.
- Topf, J., & Friedman, N. (2015). *Albumin: Inflammatory market vs Albumin: Nutritional market*. Obtenido de Medscape:
http://www.medscape.com/viewarticle/840408_4
- Toshiaki, J. (2007). Olfactory responses to amino acids in rainbow trout. En K. Reutter, & B. Kapoor, *Fish chemosenses* (págs. 32-64). Science Publishers.
- Ucros, A. (2009). *Efectos del glifosato sobre el desarrollo embrionario de la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss)*. Obtenido de Repositorio Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8480>
- Valentincic, T. (2004). Taste and olfactory stimuli and behavior in fishes. En G. Emde, J. Mogdans, & B. Kapoor, *The senses of fish*. Springer Netherlands.
- Valenzuela, A., Alveal, K., & Tarifeño, E. (2007). *Respuestas hematológicas de truchas a estres hipoxico agudo*. Obtenido de Albeitar:
<http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/3570/articulos-otros-temas-archivo/respuestas-hematologicas-de-truchas-oncorhynchus-mykiss-walbaum-1792-a-estres-hipoxico-agudo:-serie-roja.html>
- Velázquez, M., & Espinosa, M. (1989). *Diagnosis del estado actual del cultivo de la trucha arcoíris de México*. California: Secretaría de Pesca.
- Villafuerte, G. (2016). *Valoración nutricional de la microalga andina Chlorella sp. sobre el crecimiento de alevines de tilapia nilotica*. Obtenido de Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE:
https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2485/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&starts_with=Villafuerte+Gabriel

- Von, C., Grajales, A., & Gutierrez, A. (2011). Parámetros hematológicos de *Tilapia nilotica* con peso entre 250 y 350 g, en el centro piscícola de la Universidad de Caldas. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, 47 - 61.
- Yasutake, W., & Wales, J. (1983). *Microscopic anatomy of salmonids; An Atlas*. Washington: Fish and Wildlife Service.
- Yigit, N., & Keser, E. (2016). Effect of cellulase, phytase and pectinase supplementation on growth performance and nutrient digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry fed diets containing canola meal. *Applied Ichthyology*, 938-942.