



**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: EFECTO NUTRICIONAL DEL CROMO TRIVALENTE  
PRESENTE EN *Arthrospira platensis*, EN EL CULTIVO DE TRUCHA  
ARCO IRIS EN ETAPA DE ENGORDE**

**AUTOR: GUALLICHICOMIN JUIÑA, DORIS LISETTE**

**DIRECTOR: ORTIZ TIRADO, JUAN CRISTÓBAL**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, *"EFECTO NUTRICIONAL DEL CROMO TRIVALENTE PRESENTE EN *Arthrospira platensis*, EN EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS EN ETAPA DE ENGORDE"* fue realizado por el señorita *Guallichicomin Juiña, Doris Lisette* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 14 de diciembre del 2018**

Firma:  
*Juan Ortiz*  
.....  
**Ing. Juan Ortiz Trado, Ph.D.**  
*C.C. 1.70.999.816.3*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Guallichicomín Juiña, Doris Lisette*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“EFECTO NUTRICIONAL DEL CROMO TRIVALENTE PRESENTE EN *Arthrospira platensis*, EN EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS EN ETAPA DE ENGORDE”* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Sangolquí, 14 de diciembre del 2018**

Firma

*Doris Lisette Guallichicomín Juiña*

**Guallichicomín Juiña, Doris Lisette**

C.C.: *1.12537.14.37*.....



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORIZACIÓN

*Yo, Guallichicomín Juiña, Doris Lisette autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “EFECTO NUTRICIONAL DEL CROMO TRIVALENTE PRESENTE EN *Arthrospira platensis*, EN EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS EN ETAPA DE ENGORDE” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 14 de diciembre del 2018

Firma

*Doris Guallichicomín*

Guallichicomín Juiña, Doris Lisette

C.C.: 1725371437.....

## **DEDICATORIA**

A la mujer de mi vida, mi Madre quien es fuente de inspiración y superación.

A José y Finita, mis abuelitos, por ser ejemplo de fortaleza y perseverancia.

A mi hermana, Deisy.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y sobre todo por haberme puesto en el lugar adecuado y con las personas correctas.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, especialmente a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – IASA I.

A mi Mami por todo su esfuerzo, dedicación y amor en cada etapa de mi vida.

A mis abuelitos, quienes han sido otros padres para mí, me han guiado y brindado su amor incondicional.

A mis hermanas, ñaños, primas y tías quienes me han brindado su cariño y apoyo en cada momento de mi vida, gracias Familia por caminar junto a mí.

A mi Director de tesis Doctor. Juan Ortiz, por la oportunidad y confianza para trabajar junto a él y sobre todo por los consejos, apoyo y paciencia durante el desarrollo del proyecto.

A la Ing. Daysi Muñoz, Lic. Taco y al Ing. Pablo Landázuri por su ayuda y consejos oportunos.

A mis amigos quienes, con su esencia, han hecho de mi etapa universitaria una de las mejores, gracias por todos los momentos compartidos y sobre todo por el apoyo incondicional, gracias: Gaby, Carlita, Byron, Benito, Veré y Bryan.

A los amigos que me regalaron la Tesis, quienes me apoyaron durante todo este trayecto, gracias Jhoa, y especialmente Diego y Luis Andrés, por todas las experiencias vividas.

*Doris Guallichicomín*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación .....	3
1.3	Planteamiento del problema .....	4
1.3.1	Problema .....	4
1.3.1.1	Causas .....	4
1.3.1.2	Efectos .....	5
1.4	Objetivos .....	5
1.4.1	General .....	5
1.4.2	Específicos .....	5
1.5	Hipótesis .....	6

1.5.1	Hipótesis alternativa .....	6
1.5.2	Hipótesis nula .....	6

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1	Generalidades de la trucha arco iris.....	7
2.2	Origen .....	7
2.3	Biología de la especie .....	7
2.4	Morfología .....	8
2.5	Condiciones medio ambientales .....	9
2.6	Alimentación .....	10
2.6.1	Requerimientos nutricionales .....	11
2.6.1.1	Proteína.....	11
2.6.1.2	Aminoácidos.....	11
2.6.1.3	Carbohidratos.....	12
2.6.1.4	Lípidos .....	12
2.6.1.5	Vitaminas.....	12
2.6.1.6	Minerales .....	13
2.6.2	Proceso de ingesta y digestibilidad del alimento.....	13
2.6.3	Gasto y balance energético .....	14
2.6.4	Suministración de alimento balanceado .....	16
2.6.5	Contenido nutricional en la carne de trucha arco iris .....	16
2.7	Espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ). .....	18
2.7.1	Generalidades .....	18
2.7.2	Usos comerciales de espirulina.....	18



2.7.2.1	Industria farmacéutica .....	18
2.7.2.2	Nutrición humana .....	19
2.7.2.3	Biofertilizante .....	19
2.7.2.4	Nutrición animal .....	19
2.7.3	Contenido nutricional de la espirulina.....	20
2.7.3.1	Proteína y aminoácidos.....	20
2.7.3.2	Lípidos y Ácidos grasos insaturados .....	20
2.7.3.3	Beta caroteno y vitaminas.....	21
2.7.3.4	Minerales .....	21
2.8	Cromo trivalente .....	22
2.8.1	El cromo trivalente como factor de tolerancia a la glucosa.....	23
2.8.2	Mecanismos de Acción del Cromo III.....	23
2.8.3	Cromo III en nutrición animal .....	24
2.8.4	Biodisponibilidad.....	24
2.9	Componentes sanguíneos .....	24
2.9.1	Insulina .....	24
2.9.2	Glucosa en peces .....	25

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1	Ubicación del lugar de investigación.....	26
3.1.1	Ubicación política.....	26
3.1.2	Ubicación geográfica .....	26
3.1.3	Ubicación ecológica .....	27
3.2	Materiales .....	27

3.2.1	Biológicos.....	27
3.2.2	Materiales de Campo.....	27
3.2.3	Laboratorio.....	27
3.2.4	Equipos.....	28
3.2.5	Reactivos.....	29
3.3	Métodos.....	29
3.3.1	Fase de campo.....	29
3.3.1.1	Limpieza de las piscinas.....	29
3.3.1.2	Clasificación de peces.....	29
3.3.1.3	Aclimatación de peces.....	30
3.3.1.4	Muestreo de animales.....	30
3.3.1.5	Parámetros morfométricos y productivos.....	30
3.3.1.6	Parámetros fisicoquímicos del agua.....	31
3.3.2	Fase de laboratorio.....	32
3.3.2.1	Determinación de Cromo trivalente presente en <i>Arthrospira platensis</i> . ....	32
3.3.2.2	Preparación de dietas alimenticias.....	33
3.3.2.3	Extracción de sangre.....	34
3.3.2.4	Determinación de glucosa en la sangre de la trucha arco iris.....	35
3.3.2.5	Hematocrito.....	35
3.3.2.6	Determinación del contenido de cromo trivalente en trucha arco iris.....	36
3.4	Diseño experimental.....	37
3.4.1	Tipo de diseño.....	37
3.4.2	Modelo matemático.....	38
3.4.3	Factores.....	38

3.4.4	Tratamientos .....	38
3.4.5	Características de las Unidad Experimentales .....	39
3.4.6	Repeticiones.....	39
3.4.7	Croquis del diseño .....	39
3.4.8	Variables de respuesta evaluadas .....	40
3.4.8.1	Variables morfométricas.....	40
3.4.8.2	Variables productivas .....	40
3.4.8.3	Variables hematológicas.....	41
3.4.8.4	Contenido de cromo trivalente en el musculo, hígado y riñón.....	41
3.5	Análisis estadístico .....	42
3.5.1	Esquema del análisis de varianza (ANAVA) .....	42

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Condiciones físico-químicas del agua.....	43
4.2	Contenido de Cromo trivalente en espirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> ) .....	44
4.3	Variables morfométricas.....	44
4.3.1	Peso.....	44
4.3.2	Longitud total .....	46
4.3.3	Longitud parcial.....	48
4.3.4	Ancho.....	50
4.4	Variables productivas .....	52
4.4.1	Ganancia de peso (G.P) .....	52
4.4.2	Índice de condición corporal (I.C.C) .....	54
4.4.3	Tasa de crecimiento específico (%/día).....	56

4.4.4	Eficiencia alimenticia (E.A) .....	58
4.4.5	Factor de conversión alimenticia (FCA) .....	60
4.4.6	Tasa de mortalidad.....	63
4.5	Variables hematológicas.....	63
4.5.1	Contenido de glucosa en la sangre .....	63
4.5.2	Hematocrito .....	65
4.6	Presencia de Cromo trivalente (Cr III) en músculo, hígado y riñón.....	66
4.6.1	Contenido de Cr III en músculo .....	66
4.6.2	Contenido de Cr III en hígado .....	67
4.6.3	Contenido de Cr III en riñón.....	68
4.7	Discusión .....	70
4.7.1	Parámetros físico-químicos del agua.....	70
4.7.2	Inclusión de <i>Arthrospira platensis</i> .....	70
4.7.3	Parámetros morfométricos.....	71
4.7.4	Parámetros productivos .....	73
4.7.5	Variables hematológicas.....	74
4.7.6	Contenido de Cr III en músculo, hígado y riñón .....	77

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones.....	78
5.2	Recomendaciones .....	78
5.3	Bibliografía.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Parámetros fisicoquímicos del agua</i> .....	9
<b>Tabla 2</b>	<i>Rangos de oxígeno disuelto en el agua</i> .....	10
<b>Tabla 3</b>	<i>Requerimientos de aminoácidos esenciales etapa de engorde</i> .....	11
<b>Tabla 4</b>	<i>Requerimiento de minerales en la dieta de la trucha arco iris</i> .....	13
<b>Tabla 5</b>	<i>Composición nutricional del filete de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)</i> .....	17
<b>Tabla 6</b>	<i>Contenido de aminoácidos en g por cada 100 g de (Arthrospira platensis)</i> .....	20
<b>Tabla 7</b>	<i>Composición de ácidos grasos de Arthrospira platensis, en cada 10 g</i> .....	21
<b>Tabla 8</b>	<i>Contenido de minerales presentes en mg/100g de (Arthrospira platensis).</i> .....	22
<b>Tabla 9</b>	<i>Tratamientos suministrados a la trucha arco iris en etapa de engorde</i> .....	38
<b>Tabla 10</b>	<i>Esquema de la tabla de análisis de varianza (ANAVA) para un DBCA</i> .....	42
<b>Tabla 11</b>	<i>Esquema de la tabla de análisis de varianza (ANAVA) para un DCA</i> .....	42
<b>Tabla 12</b>	<i>Promedio de los parámetros fisicoquímicos registrados durante la fase experimental</i> .....	43
<b>Tabla 13</b>	<i>Promedio ± error estándar del peso corporal (g) bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis</i> .....	45
<b>Tabla 14</b>	<i>Promedio ± error estándar de la ganancia de peso (g) para cada tratamiento</i> .....	45
<b>Tabla 15</b>	<i>Promedio ± error estándar de la longitud total (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis</i> .....	47
<b>Tabla 16</b>	<i>Promedio ± error estándar de la longitud total (cm) por tratamiento</i> .....	47
<b>Tabla 17</b>	<i>Promedio ± error estándar de la longitud parcial (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis</i> .....	49
<b>Tabla 18</b>	<i>Promedio ± error estándar de la longitud parcial (cm) por tratamiento</i> .....	49
<b>Tabla 19</b>	<i>Promedio ± error estándar del ancho (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis</i> .....	51
<b>Tabla 20</b>	<i>Promedio ± error estándar del ancho (cm) por tratamiento</i> .....	51
<b>Tabla 21</b>	<i>Promedio ± error estándar de la ganancia de peso bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis</i> .....	53
<b>Tabla 22</b>	<i>Promedio ± error estándar del índice de condición corporal bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis</i> .....	55

<b>Tabla 23</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar de la tasa de crecimiento específica bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i>.....</i>	57
<b>Tabla 24</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar de la eficiencia alimenticia bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i> .....</i>	59
<b>Tabla 25</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar de la eficiencia alimenticia por mes .....</i>	59
<b>Tabla 26</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del factor de conversión alimenticia bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i>.....</i>	61
<b>Tabla 27</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del factor de conversión alimenticia por mes .....</i>	62
<b>Tabla 28</b>	<i>Tasa de mortalidad (%) de trucha arco iris bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i> .....</i>	63
<b>Tabla 29</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del contenido de glucosa (mL/dL) en la sangre bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i> .....</i>	64
<b>Tabla 30</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del hematocrito (%) bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i> .....</i>	65
<b>Tabla 31</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del contenido de Cr III bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i> .....</i>	67
<b>Tabla 32</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del contenido de Cr III en el hígado bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i>.....</i>	68
<b>Tabla 33</b>	<i>Promedio <math>\pm</math> error estándar del contenido de Cr III en riñón bajo el efecto de cuatro dosis de <i>Arthrospira platensis</i>.....</i>	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Anatomía externa de la trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) .....	9
<b>Figura 2</b> Pérdidas energéticas en la alimentación de trucha arco iris. ....	16
<b>Figura 3</b> Vista aérea del proyecto acuícola (A) y del laboratorio de recursos acuáticos (B).....	26
<b>Figura 4</b> Toma de parámetros morfométricos.....	31
<b>Figura 5</b> Calibración del equipo de espectrofotometría de absorción atómica .....	32
<b>Figura 6</b> Preparación de dietas alimenticias a probar.....	34
<b>Figura 7</b> Toma de muestras de sangre.....	34
<b>Figura 8</b> Determinación de porcentaje de hematocrito .....	36
<b>Figura 9</b> Digestión y lectura de muestras .....	37
<b>Figura 10</b> Esquematación de las unidades experimentales .....	39
<b>Figura 11</b> Croquis de las unidades experimentales .....	40
<b>Figura 12</b> Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua (a: temperatura, b: pH y c: oxígeno).....	43
<b>Figura 13</b> Curva de Calibración para la determinación de Cr III.....	44
<b>Figura 14</b> Promedio $\pm$ error estándar del peso corporal a través del tiempo.....	46
<b>Figura 15</b> Promedio $\pm$ error estándar de la longitud total (cm) medidas en el tiempo.....	48
<b>Figura 16</b> Promedio $\pm$ error estándar de la longitud parcial a través del tiempo .....	50
<b>Figura 17</b> Promedio $\pm$ error estándar del ancho a través del tiempo.....	52
<b>Figura 18</b> Promedio $\pm$ error estándar de la ganancia de peso a través del tiempo .....	54
<b>Figura 19</b> Promedio $\pm$ error estándar del índice de condición corporal a través del tiempo.....	56
<b>Figura 20</b> Promedio $\pm$ error estándar de la tasa de crecimiento específico a través del tiempo ..	58
<b>Figura 21</b> Promedio $\pm$ error estándar de la eficiencia alimenticia (%) a través del tiempo .....	60
<b>Figura 22</b> Promedio $\pm$ error estándar del factor de conversión alimenticia través del tiempo.....	62
<b>Figura 23</b> Promedio $\pm$ error estándar de los niveles de glucosa (ml/dl) a través del tiempo .....	65
<b>Figura 24</b> Promedio $\pm$ error estándar del porcentaje de hematocrito. ....	66
<b>Figura 25</b> Contenido de Cromo trivalente en el músculo .....	67
<b>Figura 26</b> Contenido de Cromo trivalente en hígado .....	68
<b>Figura 27</b> Contenido de Cromo trivalente en riñón .....	69

## RESUMEN

*Arthrospira platensis* es una cianobacteria con un alto contenido de proteína, ácidos grasos, carotenoides y minerales, esenciales para la alimentación de peces. En el estudio se evaluó el efecto del cromo trivalente presente en *Arthrospira platensis*, al incluir diferentes dosis (0; 0.5; 1; 1.5 %) en el alimento balanceado para truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde. Se utilizaron 180 peces con un peso promedio de  $80.04 \pm 0.48$  gramos, los cuales fueron distribuidos en 12 unidades experimentales. El suministro de las dietas a probar se realizó cuatro veces al día en horarios establecidos (9:00, 12:00, 14:00 y 16:00) durante 90 días. Las variables morfométricas y productivas fueron evaluadas cada 10 días. El contenido de glucosa en la sangre se evaluó cada 30 días y el contenido de cromo trivalente presente en músculo, hígado y riñón se determinó a la finalización del estudio mediante espectrofotometría de absorción atómica por flama. A la finalización del estudio con la inclusión del 1% de *Arthrospira platensis*, se obtuvieron diferencias estadísticas ( $p < 0.005$ ) en peso corporal ( $223,6 \pm 2,57$ g), ancho ( $6,39 \pm 0,05$ cm), niveles de glucosa ( $43,64 \pm 5,15$  mL/dL) y contenido de Cr III en varios órganos de trucha arco iris respecto al control. También se determinó diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) en ganancia de peso y tasa de crecimiento específico entre los tratamientos, obteniendo mejores resultados con el Tratamiento 2.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **TRUCHA ARCO IRIS**
- **ARTHROSPIRAPLATENSIS**
- **CROMO TRIVALENTE**
- **GLUCOSA**



## ABSTRACT

*Arthrospira platensis* is a cyanobacterium with a high content of protein, fatty acids, carotenoids and minerals, essential for feeding fish. In the study was evaluated the effect of trivalent chromium presented in *Arthrospira platensis*, including different doses (0; 0.5; 1; 1.5%) in the balanced feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the fattening stage. 180 fishes were used with an average weight of  $80.04 \pm 0.48$  grams, which were distributed in 12 experimental units. The supply of the diets to be tested was carried out four times a day at set times (9:00, 12:00, 14:00 and 16:00) for 90 days. The morphometric and productive variables were evaluated every 10 days. The content of glucose in the blood was evaluated every 30 days and the content of trivalent chromium present in muscle, liver and kidney was determined at the end of the study by flame atomic absorption spectrophotometry. At the end of the study with the inclusion of 1% of *Arthrospira platensis*, were obtained statistical differences ( $p < 0.005$ ) in body weight ( $223.6 \pm 2.57$ g), width ( $6.39 \pm 0.05$ cm), glucose levels ( $43.64 \pm 5.15$  mL / dL) and Cr III contented in several rainbow trout organs with respect to the control. Also, were determined Statistical differences ( $p < 0.05$ ) in weight and specific growth rate between treatments were also determined, obtaining better results with Treatment 2.

### KEYWORDS:

- **RAINBOW TROUT**
- ***ARTHROSPIRA PLATENSIS***
- **TRIVALENT CHROMIUM**
- **GLUCOSE**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El desarrollo de la acuicultura en la última década, la ha ubicado en una de las actividades de producción de alimentos de origen animal con mayor crecimiento a nivel mundial (ESPOL, 2018). En Ecuador se ha generado un desarrollo de la acuicultura principalmente con el cultivo de camarón y tilapia. Sin embargo, la trucha arco iris se ha convertido en otra alternativa con gran impacto social, económico y ambiental.

El cromo trivalente es un mineral esencial en la alimentación animal, debido a su función dentro del metabolismo de la insulina como factor de tolerancia a la glucosa (FTG). Además, es un co-factor para la hormona de insulina, actúa en el metabolismo de carbohidratos, colesterol y aminoácidos. Su déficit dentro de la alimentación ocasiona un deterioro del metabolismo de la glucosa, por la baja eficiencia de la insulina (Gàmez, Sáenz, & Morales, 2002).

En muchos vertebrados, especialmente en mamíferos, la glucosa es la fuente principal de energía para las células y constituye la molécula central en el metabolismo, sin embargo en peces se habla de la poca tolerancia de glucosa, diferentes estudios realizados con tratamientos de glucosa tienen como resultado un escaso almacenamiento de la misma (Rojas C. , 2005).

La espirulina (*Arthrospira platensis*) es una cianobacteria la cual presenta niveles de proteína hasta un 70%, ácidos grasos altamente insaturados, aminoácidos esenciales, minerales, vitaminas (especialmente B12), antioxidantes y pigmentos. Por lo que la producción comercial de espirulina se ha incrementado considerablemente a nivel mundial (Espada, 2016).

En acuicultura, la espirulina es utilizada como un aditivo dentro de las formulaciones de raciones alimenticias del animal, con la finalidad de mejorar la respuesta fisiológica a

enfermedades, eficiencia alimenticia, parámetros productivos y fisiológicos. Presenta un alto contenido de ácido gamma – linoléico (GLA), elemento clave y precursor de otras moléculas en el sistema inmune del camarón blanco (Margarites, 2016).

Existen pocos estudios en cuanto a lo que se refiere al uso de cromo trivalente dentro de dietas alimenticias para mejorar parámetros productivos, fisiológicos o inmunológicos. Los estudios realizados han sido dentro de formulaciones alimenticias para cerdos, y aves principalmente. Los resultados obtenidos por García, *et al.*, (2004) en dietas enriquecidas con cromo L-metionina para cerdas primerizas no presentaron diferencias estadísticas en la ganancia de peso, ni en los niveles de glucosa en la sangre. Mientras que los resultados obtenidos por Herrán, *et al.*, (2011) en piensos para pollos, enriquecidas con cromo, no mostraron diferencia significativa en conversión alimenticia, sin embargo, mostraron diferencia en los niveles de glucosa y colesterol presente en la carne. En acuicultura no se detallan investigaciones del uso de cromo trivalente dentro de las dietas alimenticias.

Sin embargo, a lo que se refiere al uso de espirulina, como aditivo dentro de las raciones alimenticias, se encuentra algunas investigaciones, en las que se detallan su uso en dietas alimenticias de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para mejorar parámetros productivos, reproductivos, inmunológicos, fisiológicos en diferentes etapas del animal, con el cual se ha obtenido resultados favorables. Los resultados obtenidos en el estudio de Teimouri, *et al.*, (2013) fueron satisfactorios sobre la ganancia de peso y contenido de los niveles de carotenoides en el filete de trucha arco iris, con una adición del 10% de espirulina sobre la dieta total. Mientras que Lozano & León, (2014) obtuvieron mejores resultados dentro de la alimentación de alevines, con un nivel de inclusión de espirulina del 15% generando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) frente

al grupo control con una ganancia de peso de  $12,48 \pm 0,9g$ , longitud de  $9,96 \pm 0,14cm$  y tasa de crecimiento específico (TCE)  $4,92 \pm 0,08\%$ .

## **1.2 Justificación**

Ecuador en los últimos años ha incrementado la producción acuícola especialmente del cultivo de trucha arco iris, debido a las investigaciones y sobre todo a las condiciones ecológicas óptimas para la crianza, convirtiéndose en una alternativa económica viable y sustentable de alto impacto.

Estudios realizados sobre el cromo trivalente en la alimentación animal, demuestran que ayuda a la síntesis de proteína debido a que presenta un factor de tolerancia a la glucosa el cual está implicado en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas a nivel celular potencializando la acción de la insulina (Herrán, Peña, Latorre, & Calderón, 2011). Esta función normaliza la utilización de carbohidratos y propicia un mejor comportamiento productivo del animal.

El déficit de cromo trivalente predispone a alteraciones dentro del metabolismo de la glucosa e insulina, y a futuro puede provocar resistencia a la insulina, intolerancia a la glucosa, diabetes mellitus, aterosclerosis y enfermedades cardiovasculares (Gómez & Magaña, 2003).

La glucosa es la fuente principal de energía para las células y constituye la molécula central en el metabolismo. Sin embargo, los peces, presentan poca “tolerancia” a la glucosa, dada la escasa utilización y capacidad de almacenamiento por el hígado. Al evaluar dietas con alto contenido de carbohidratos o glucosa, se observó una reducción de crecimiento, hiperglucemia prolongada de los animales e incrementos elevados del glucógeno hepático (Rojas P. , 2005).

La espirulina es conocida como el alimento del futuro, debido a su alto contenido de proteína además de contar con todos los aminoácidos esenciales y no esenciales, vitaminas, minerales y carotenoides (Mezzomo, y otros, 2010). Por su perfil nutricional, y bajo costo a comparación de

otras fuentes proteicas, se la utiliza como reemplazo de la harina de pescado dentro de las dietas nutricionales para peces.

El presente estudio busca aprovechar el contenido de cromo trivalente en espirulina (*Arthrospira platensis*), dentro de la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), en etapas de engorde, con la finalidad de obtener mejores resultados productivos (ganancia de peso), funcionamiento del metabolismo de la glucosa e insulina, así como evidenciar los niveles de contenido de cromo trivalente en diferentes órganos.

### **1.3 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1 Problema**

Estudios realizados en dietas con altos contenidos de carbohidratos, evidencian poca tolerancia a la glucosa por parte de la trucha arco iris, debido a la escasa utilización y capacidad de almacenamiento de la glucosa, lo cual influye negativamente en el crecimiento, funciones fisiológicas y costos de producción. El cromo trivalente presente en *Arthrospira platensis* puede convertirse en parte fundamental del factor de tolerancia a la glucosa (GTF), el cual está relacionado con el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas a nivel celular facilitando la acción de la insulina. Los seres humanos requieren de niveles bajos de cromo, para la regulación de insulina en la sangre, pero las fuentes de este mineral son limitadas.

##### **1.3.1.1 Causas**

- Uso de harina de pescado como única fuente proteica para la producción de especies carnívoras como la trucha arco iris.
- Baja metabolización de carbohidratos, dado por la poca acción de amilasas y dificultad en el uso de glucosa circulante por concentraciones mínimas de insulina.

- Falta de fuentes proteicas tanto de origen animal, como vegetal con elevado contenido nutricional.
- Limitadas fuentes naturales de minerales esenciales.

### **1.3.1.2 Efectos**

- Escasa asimilación de carbohidratos y proteínas durante la alimentación de truchas.
- Valor nutricional limitado en la carne de trucha, por déficit de nutrientes durante su alimentación.
- Limitadas fuentes de cromo trivalente para consumo humano.
- Altos costos operativos por el uso deficiente de harina de pescado y otros ingredientes como la soya en la producción de truchas.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

- Determinar el efecto nutricional del cromo trivalente presente en espirulina (*Arthrospira platensis*), en el cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde.

### **1.4.2 Específicos**

- Estimar los parámetros morfométricos y productivos en el cultivo de trucha arco iris durante la etapa de engorde, bajo el suministro de dietas balanceadas con diferentes porcentajes de inclusión de espirulina (*Arthrospira platensis*).
- Determinar las concentraciones temporales de glucosa en la sangre de trucha arco iris en la etapa de engorde, bajo la acción de los diferentes tratamientos.
- Determinar el contenido de Cromo trivalente en músculo, hígado y riñón de la trucha arco iris a la finalización del experimento.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis alternativa**

“El contenido de cromo trivalente presente en Espirulina (*Arthrospira platensis*) e incluida en dietas balanceadas para la alimentación de truchas en etapa de engorde, mejora los parámetros productivos del cultivo evidenciando la, concentración residual de cromo III en músculo, hígado y riñón”.

### **1.5.2 Hipótesis nula**

“El contenido de cromo trivalente presente en Espirulina (*Arthrospira platensis*) e incluida en dietas balanceadas para la alimentación de truchas en etapa de engorde, mantiene los parámetros productivos del cultivo, sin concentraciones residuales de cromo III en músculo, hígado y riñón”.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1 Generalidades de la trucha arco iris**

La crianza de salmónidos es una actividad relevante dentro de la acuicultura a nivel mundial en aguas continentales, incrementando sus niveles de demanda en el mercado durante los últimos años (FAO, 2016). En Ecuador la crianza de trucha arco iris se ha fomentado debido a las condiciones ambientales favorables del alto andino (Muñoz, 2008). La especie en estudio presenta fácil adaptación, crecimiento rápido y tolerancia a enfermedades, por lo que se ha establecido como una alternativa piscícola en el país (Molina C. , 2004).

Uno de los criterios técnicos más importantes es el manejo nutricional de la especie durante el cultivo, debido a que este rubro representa entre el 50 al 60% de los costos de producción (FAO, 2014).

#### **2.2 Origen**

La trucha arco iris es nativa de las cuencas del Pacífico en Norte América, abarcando desde Alaska a México. Esta especie ha sido introducida en todos los continentes con excepción de la Antártica, con el propósito de recrear la pesca deportiva y mejorar las alternativas de acuicultura en el mundo (FAO, 2009). En Ecuador fue introducida en el año 1920, con el objetivo de fomentar la pesca deportiva y fines comerciales. En la actualidad se encuentra distribuida en toda la serranía y zonas templadas frías del oriente (Guayasamín, 2016).

#### **2.3 Biología de la especie**

En su medio natural puede alcanzar dimensiones entre 50 – 70 cm y pesos de 4 a 5 kilogramos, pero para su comercialización para mercado local varía entre 200 y 300 gramos/unidad. La especie en cautiverio presenta docilidad, resistencia a altas densidades de



carga animal/m<sup>2</sup>, y es menos agresiva en comparación a especies (Ortíz, 2015).

▪ **Clasificación taxonómica de la trucha arco iris**

Phylum: Chordata

Superclase: Písces

Clase: Osteichthyes

Orden: Salmoniformes

Familia: Salmonidae

Género: *Oncorhynchus*

Especie: *Oncorhynchus mykiss*

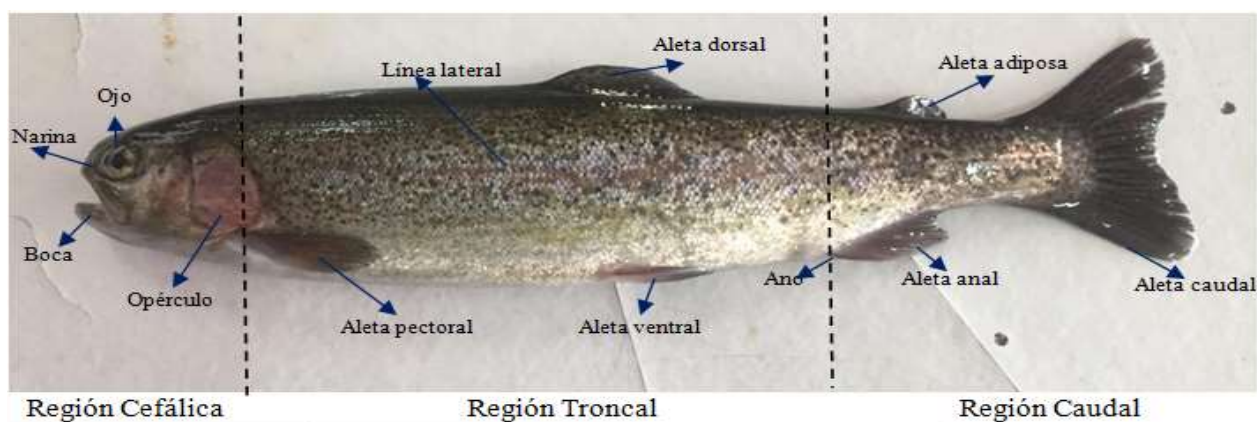
Nombre común: Trucha arco iris

Fuente:(Blanco, 1995).

## **2.4 Morfología**

Su cuerpo está cubierto por finas escamas, presenta un color de piel verde oliva, la cual varía de acuerdo al ambiente donde estas se desarrollan, edad, madurez sexual entre otros factores ambientales (Maiz, Valero, & Briceño, 2010).

Presenta una forma aerodinámica fusiforme, posee dos aletas pares y tres impares, además del pedúnculo caudal (Figura 1), sus funciones son estabilizadoras, de timón y freno. También posee una aleta adiposa la cual no tiene función alguna (Blanco, 1995). Posee de 28 a 29 vertebras unidas por tejido conjuntivo, 3 a 4 espinas dorsales y anales (FAO, 2005).



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

Su anatomía interna está conformada por corazón, hígado, riñón, estómago, bazo, ciego pilórico, vejiga natatoria, y uréter (Muñoz, 2008).

## 2.5 Condiciones medio ambientales

Son peces de aguas cristalinas, frías, puras, con buenas corrientes y excelente oxigenación. Son poiquiloterms, por lo que la temperatura del agua es la misma que la que tiene el pez. No toleran los cambios bruscos de temperaturas (Ortíz, 2015).

En la tabla 1, se puede apreciar los parámetros fisicoquímicos fundamentales para el cultivo de trucha arco iris.

**Tabla 1**  
*Parámetros fisicoquímicos del agua*

Factores	Unidades	Normal	Dudoso	Peligroso
Temperatura	°C	<20	20 – 22	>22
Oxígeno disuelto	%	=<80%	50 – 70%	50%
pH	pH	6<pH<9	<6 >9.2	<5.5 >9.5
Conductividad a 20°C	(uS)/cm	20 – 500	500 – 600	>600
Alcalinidad en (HCO <sub>3</sub> )	mg/l	Débil 8 a 60 Fuerte >400		
Calcio	mg/l	Fuerte 60 – 600		

CONTINÚA



<b>Sulfatos en (SO4)</b>	mg/l	0 – 50	50 – 100	>100
<b>Nitratos</b>	mg/l	Débil 0 – 10 Fuerte >11		
<b>Nitritos</b>	mg/l	0 – incidíos 0.001	0.1	=<1
<b>Amoniaco</b>	mg/l	0 – incidíos 0.001	0.01 – 0.004	=<1

Fuente: (Blanco, 1995).

Dentro del medio natural el pH debe mantenerse en niveles de 6.5 a 8.5. Lo que mantiene un equilibrio entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub> (Ortíz, 2015).

La tasa de saturación de oxígeno para el cultivo de truchas debe mantenerse dentro 70% al 100%. Una concentración menor de oxígeno afecta la asimilación del alimento (Blanco, 1995).

La concentración de oxígeno es afectada por diversos factores, como: altitud, temperatura y carga animal.

**Tabla 2**  
*Rangos de oxígeno disuelto en el agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Óptimo</b>
<b>Oxígeno</b>	5.5 - 7 ppm (mgO <sub>2</sub> /l)	7 – 9 ppm
<b>% de saturación de oxígeno</b>		102%

Fuente: (MAGAP, 2013).

## 2.6 Alimentación

En la crianza de truchas el crecimiento rápido y la ganancia de peso son aspectos primordiales, por tanto la alimentación debe estar dirigida a estos aspectos, con un máximo rendimiento y mínimo costo de producción (Blanco, 1995).

Los piensos deben de aportar cantidades suficientes y equilibradas de sustancias energéticas (proteínas, lípidos, glúcidos, minerales y vitaminas), para el mantenimiento de las constantes biológicas y crecimiento del pez (Blanco, 1995). Por ende al momento de elaborar alimento balanceado o alternativo el cual va a sustituir el alimento natural, se debe asegurar que este

cumpla con las demandas nutricionales y energéticas del pez (Ortíz, 2015).

### 2.6.1 Requerimientos nutricionales

La ración alimenticia debe de encontrarse totalmente balanceada, en cuanto a proteína, aminoácidos esenciales, carbohidratos, grasas, etc. Para cubrir las necesidades del animal (Godoy, 1999). El alimento debe ser altamente digerible, manteniendo un perfil de aminoácidos esenciales en concentraciones adecuadas (Ortíz, 2015).

#### 2.6.1.1 Proteína

Componente fundamental del organismo, su función es promover el crecimiento y mejorar el funcionamiento de los órganos de la trucha, para la producción de enzimas, células sexuales, etc. Los requerimientos proteicos varían según la edad del pez. Una dieta balanceada para finalización debe de contener entre 30 a 45 % de proteína (Godoy, 1999).

#### 2.6.1.2 Aminoácidos

Los aminoácidos esenciales ayudan a regular el normal crecimiento de la especie (FAO, 2018), su déficit en la dieta genera un retraso en el crecimiento del pez. Por lo que debe constituir al menos el 50% del componente proteico dentro del pienso alimenticio (Cowey, 1999). En la tabla 3. Se puede observar los requerimientos de aminoácidos dentro de la alimentación trutícola.

**Tabla 3**

*Requerimientos de aminoácidos esenciales etapa de engorde*

Aminoácidos	%
Arginina	2
Histidinea	0.7
Isoleucina	0.8
Leucina	1.4
Liisina	2
Metionina	1.1
Fenilalanina	1.2

CONTINÚA



Treonina	0.8
Triptofano	0.2
Valina	1.3

---

Fuente: (FAO, 2018).

### **2.6.1.3 Carbohidratos**

Fuente de energía para la trucha, debe estar bien balanceado dentro de los piensos, debido a que su exceso produce una degeneración del hígado, por la acumulación de glucógeno en hígado y depósito de grasa en riñón e hígado. Los niveles óptimos de carbohidratos se encuentran entre el 9 al 12% del alimento (España, 2003).

Los carbohidratos son tratados a nivel intestinal por la acción de fermentos pancreáticos, que lo descomponen en monosacáridos, pasando al hígado donde se acumula en forma de glucógeno. Con el que se mantiene los niveles de glucosa en la sangre, convirtiéndose en fuente de energía para diferentes órganos (Blanco, 1995).

### **2.6.1.4 Lípidos**

Los lípidos son fuente de energía metabólica (ATP), intervienen en la adsorción de vitaminas liposolubles, síntesis de hormonas sexuales y son fuentes de ácidos grasos esenciales. La digestión de las grasas depende de su origen, siendo más eficaz los ácidos grasos insaturados (Blanco, 1995).

El exceso de grasa se presenta en el engrosamiento de los riñones produciendo una alteración de los procesos fisiológicos (Godoy, 1999). Debe existir una relación materia seca/grasa en el alimento balanceado, generando un efecto positivo en el peso e índice de condición corporal del pez (Bautista, 2007).

### **2.6.1.5 Vitaminas**

Compuestos que favorecen el desarrollo y funcionamiento normal de los órganos, su

deficiencia produce trastornos en el crecimiento y nutrición del animal (Godoy, 1999). En las truchas actúan como componentes o cofactores enzimáticos en diferentes procesos metabólicos (síntesis de proteínas, ácidos grasos y triglicéridos) (Vásquez, 2001).

Las vitaminas liposolubles son parte integral de las membranas celulares, cumpliendo funciones similares a las de las hormonas. Mientras que las hidrosolubles actúan como coenzimas, acelerando las reacciones enzimáticas (FAO, 2018).

#### 2.6.1.6 Minerales

Al igual que otros animales, requieren para la formación de huesos, cartílagos y sangre. Los peces absorben ciertos minerales a través de las branquias. Sus requerimientos son cantidades pequeñas, las truchas requieren macro y micro minerales (Tabla 4) para la formación de tejidos, procesos metabólicos, y mantener el balance osmótico (España, 2003).

**Tabla 4**

*Requerimiento de minerales en la dieta de la trucha arco iris*

Elemento	Requerimiento
Calcio	0.24%
Fósforo	0.70%
Magnesio	0.06–0.07%
Cromo	< 1 mg/kg
Selenio	0.07 – 0.38 %
Yodo	1 mg/kg
Cobre	2 – 3 mg/kg
Hierro	30 mg/kg
Zinc	150 mg/kg

Fuente: (FAO, 2000).

#### 2.6.2 Proceso de ingesta y digestibilidad del alimento

El proceso de alimentación en criaderos inicia con la localización del pienso mediante la quimio recepción por los órganos gustativos, los cuales se encuentran en mayor proporción en

zonas cercanas a la boca (Palacios & Ortega, 1993). Después de la detección del alimento ocurre la digestión, esto se da a través de la boca y cavidad oral. Los peces ingieren los pellets con facilidad, gracias a los dientes de la boca, los cuales son pequeños y afilados para mantener, coger y posiblemente fragmentar el alimento (Blanco, 1995). Los cuales pasaran a través de la faringe al estómago, donde actuarán los jugos gástricos y enzimas (Palacios & Ortega, 1993).

Al ser una especie carnívora, el transito del alimento por el tubo digestivo es rápido, dado su gran rendimiento ya que la superficie se encuentra muy desarrollada y con una carga de enzimas proteolíticos, esta velocidad de transito se encuentra influenciada por la temperatura ambiental (Blanco, 1995).

La determinación de la digestibilidad es un paso esencial en la evaluación de un insumo en dietas para especies acuícolas. La digestibilidad se emplea debido a la prueba de diferentes dietas a las cuales se les adiciona, elimina o varía el porcentaje de inclusión del nutriente en la dieta (Allan, y otros, 2000). En los piensos debe incluirse pequeñas cantidades de carbohidratos digestibles (glucosa, lactosa, etc.), debe superar los 4.5g por Kg de peso vivo. Las grandes cantidades de carbohidratos ocasiona pérdidas por mortalidad de los peces debido a un exceso de glucógeno almacenado en el hígado, provocando alteraciones metabólica, con un comportamiento diabético en las truchas (Ragash, 2009). Debido aquel tubo digestivo no se encuentra preparado morfológica ni funcionalmente para estos fines (Blanco, 1995).

Las diferencias en la digestibilidad de los alimentos es uno de los factores que afecta a sus distintas utilidades como fuente de energía para los animales, dado que la pérdida de energía fecal es la más importante de las que sufre la energía bruta ingerida (Calderón, 2010).

### **2.6.3 Gasto y balance energético**

En la crianza de truchas es vital la suministración de calorías energéticas mediante la dieta

alimenticia, para obtener una ganancia de peso (proteínas, lípidos y glúcidos) al mínimo costo. Por ende, es necesario una calidad y balance de los alimentos empleados, y un manejo de acorde a las condiciones ambientales. El contenido graso de un pienso influye sobre el contenido de energía bruta, que luego será transformada a energía metabólica una vez absorbida por el pez (Blanco, 1995).

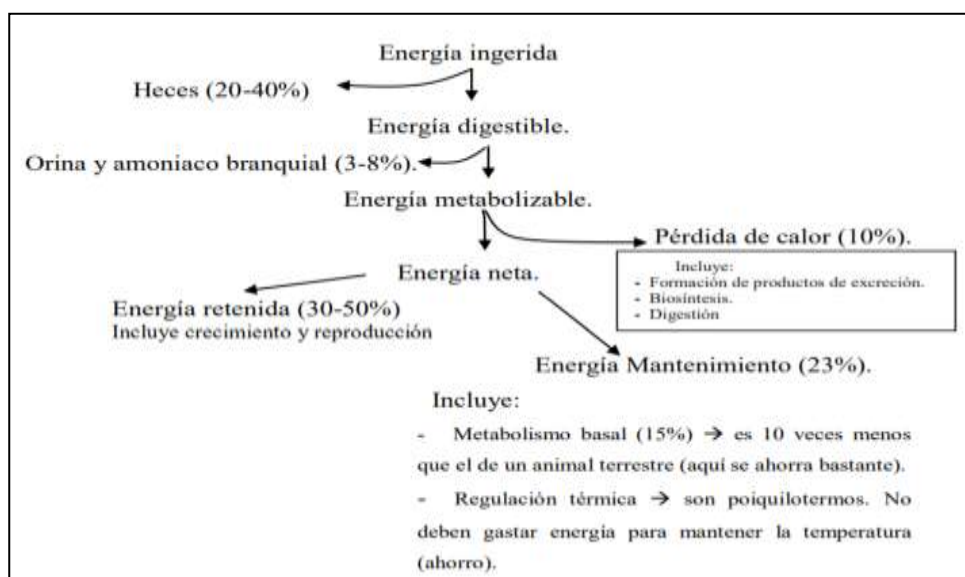
Las necesidades energéticas que necesita una trucha está en relación a su tamaño/peso, temperatura del agua, situación fisiológica entre otros. La energía es un producto terminal de los alimentos absorbidos en el intestino, capaces de liberar calor cuando se oxidan y metabolizan (Blanco, 1995).

La suministración energética en la dieta de truchas (*Oncorhynchus mykiss*), es necesario conocer como ocurre la absorción de energía ingerida y su pérdida (Molina J. C., 2017).

El pez gasta una parte de la energía metabolizable, para cubrir la necesidad de energía producida por el incremento calórico, debido a la ingestión, digestión y utilización del alimento. El gasto energético derivado de la ingestión y digestión son menores a comparación del que se produce en el trabajo metabólico en el organismo del pez para la transformación y formación de unas sustancias a otras, excreción de desechos etc. (Blanco, 1995).

En la Figura 2 se describe las pérdidas de energía desde el consumo hasta su metabolización.





**Figura 2** Pérdidas energéticas en la alimentación de trucha arco iris.

Fuente: (Quimbiamba, 2009).

#### 2.6.4 Suministración de alimento balanceado

Debe de considerarse la frecuencia con la cual se suministra la ración alimenticia manualmente, debido a que se han obtenido mejores resultados dividiendo la ración para ser suministrado varias veces al día (FAO, 2014). De igual manera se recomienda distribuir el alimento en diferentes lugares de la piscina para que sea más accesible a todos los peces, cuando se maneja densidades altas de carga animal (De la Oliva, 2011).

#### 2.6.5 Contenido nutricional en la carne de trucha arco iris

La acuicultura, contribuye de manera significativa a la producción de alimentos de origen animal para consumo humano a nivel mundial y dentro de éstos, se encuentra la familia de los salmónidos siendo una especie de gran importancia alimenticia (Galindo, Garcia, Villareal, & Fenucci, 2007).

La trucha es un pescado muy nutritivo, de sabor suave, bajo en grasa. Es una buena fuente de ácidos grasos, proteínas, minerales y vitaminas (MAGAP, 2013).

**Tabla 5***Composición nutricional del filete de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*

<b>Componentes</b>	<b>Por cada 100 gr</b>
Energía (Kcal)	90
Proteínas (g)	15,7
Lípidos totales (g)	3
AG saturados (g)	0.43
AG monoinsaturados (g)	0,74
AG poliinsaturados (g)	1,83
Colesterol (mg/1000 kcal)	80
Fibra	0
Agua (g)	81.3
Calcio (mg)	26
Hierro (mg)	1
Yodo (µg)	3
Magnesio (mg)	28
Cromo III (µg)	2
Zinc (mg)	0.8
Sodio (mg)	58
Potasio (mg)	250
Fósforo (mg)	208
Selenio (µg)	25
Tiamina (mg)	0.08
Riboflavina (mg)	0.1
Vitamina B6 (mg)	0.43
Vitamina B12 (µg)	0.52
Vitamina E (mg)	1.5

Fuente: (EFSA, 2010) .

## **2.7 Espirulina (*Arthrospira platensis*).**

Es una cianobacteria filamentosa conocida como algas azul-verde, la cual se utiliza como una única proteína de la célula. Se encuentra enriquecida por aminoácidos esenciales, proteínas, ácidos grasos, pigmentos antioxidantes, carotenoides, beta-caroteno, y ficocianina (Seyidoglu, Inan, & Cenk, 2017).

### **2.7.1 Generalidades**

La espirulina forma tricomas cilíndricos multicelulares, que se disponen de forma espiralada (Huarachi, Yapo, Dueñas, & Gonzales, 2014). Mediante la fotosíntesis convierte los nutrientes en materia y libera oxígeno celular. Los nutrientes necesarios para su desarrollo son agua, fuentes de carbono, fósforo, nitrógeno, potasio, hierro y algunos oligoelementos (Hernandez & Labbè, 2014).

Sus condiciones extremas de pH (9 – 9.8) y alta temperatura, la convierten en un cultivo con poca probabilidad a contaminarse (Falquet, 2000).

### **2.7.2 Usos comerciales de espirulina.**

Al ser organismos fotosintéticos con un alto valor nutricional, rápido crecimiento, hacen que sean utilizados con diferentes fines, tales como suplemento alimenticio tanto para animales como para humanos. En la investigación realizada por Henrikson, (2009), se establece que la espirulina tiene influencia directa sobre los neurotransmisores del cerebro, particularmente los que controlan los cambios de carácter y apetito. Esto se atribuye a la alta concentración de fenilalanina.

#### **2.7.2.1 Industria farmacéutica**

Diversos estudios realizados con espirulina en los últimos años, han comprobado su efectividad farmacéutica contra alergias, anemia, cáncer, enfermedades virales y

cardiovasculares. Lo cual se le atribuye a las sustancias que actúan como principio activo (omega 3, 6, beta – caroteno, ficocianina, compuestos fenólicos) (Chamorro, Salazar, Gomez, Pereira dos Santos, & Castillo, 2002).

### **2.7.2.2 Nutrición humana**

La espirulina es un suplemento alimenticio natural y concentrado que ayuda a evitar las deficiencias nutricionales (vitaminas, minerales y proteína) (Espada, 2016). Al contener una amplia gama de nutrientes esenciales (Meixner, Fritz, & Daffert, 2016).

### **2.7.2.3 Biofertilizante**

Es usada como un fertilizante natural mejorando la calidad de las plantas al igual que la resistencia a los hongos (Cornet, Dussap, & Dubertret, 1992).

### **2.7.2.4 Nutrición animal**

Espirulina ha sido incluida en la alimentación para mascotas, animales de granja, y con mayor importancia dentro de la acuicultura (Centeno, 2013).

El estudio realizado por (Rincón, y otros, 2012), sobre la inclusión de espirulina fresca hasta un nivel de ingesta del 2.6% del alimento total, consumido en larvas de *Oreochromis niloticus*, mostró un efecto positivo, debido a que las larvas asimilaron eficientemente la cianobacteria mejorando la eficiencia alimenticia y ganancia de peso.

Es utilizada como un suplemento proteico y vitamínico en dietas alimenticias para diferentes especies acuícolas (camarones, peces, moluscos) en distintas etapas fisiológicas.

Diversos estudios nutricionales realizados con espirulina, en dietas alimenticias para peces, demostraron su efectividad en relación al crecimiento y la asimilación de proteína por el pez. Disminuyendo el nivel de colesterol y grasa además de mejorar el metabolismo de los lípidos en peces (Sirakov & Velichkova, 2012). Convirtiéndose en un alimento ideal debido a sus tres

propiedades fundamentales:

**Purificadora:** Por su acción estimulante en la limpieza del sistema cardiovascular.

**Restablecedora:** Compensa las carencias nutricionales y mejora el sistema digestivo.

**Fortalecedora:** Por su acción sobre el sistema inmune (Diaz & Leon, 2014).

### 2.7.3 Contenido nutricional de la espirulina

Espirulina contiene nutrientes esenciales como: proteínas, aminoácidos, minerales, vitaminas, pigmentos, ácidos nucleídos, carbohidratos y lípidos, los cuales se detallan a continuación.

#### 2.7.3.1 Proteína y aminoácidos

Presenta un alto contenido de proteína oscilando entre 50 a 65%. Convirtiéndose en una proteína muy completa, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales (Diaz & Leon, 2014).

**Tabla 6**

*Contenido de aminoácidos en g por cada 100 g de (Arthrospira platensis)*

Proteínas y aminoácidos	g/ 100 g
Triptófano	0.922
Treonina	2.97
Isoleucina	3.209
Leucina	4.947
Lisina	3.025
Metionina	1.149
Cistina	0.66
Fenilalanina	2.77
Tirosina	2.58
Valina	3.51
Arginina	4.147
Serina	2.99
Histidina	1.08

Fuente: (Seyidoglu, Inan, & Cenk, 2017).

#### 2.7.3.2 Lípidos y Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados, conforman alrededor del 1,3 – 1,5 % del total de lípidos en la

espirulina (6-6,5%) principalmente constituidos por ácido linolenico (30-35% del total) (Diaz & Leon, 2014).

**Tabla 7**

*Composición de ácidos grasos de Anthrospira platensis, en cada 10 g*

Ácidos grasos	mg/10g
Grasa saturadas	100 mg
Grasas insaturadas	210 mg
Ácido linoléico	120 mg
Ácido linoléico	80 mg
Ácido oléico	11 mg

Fuente: (Centeno, 2013).

### 2.7.3.3 Beta caroteno y vitaminas

La espirulina contiene grandes cantidades de beta caroteno natural y de vitaminas. El beta caroteno, vitaminas del grupo B, vitamina E, Hierro, Potasio y clorofila disponibles promueven el metabolismo de carbohidratos, grasa, proteína, alcohol, y la regeneración de la piel, músculo y mucosas (Habib & Parvin, 2008).

### 2.7.3.4 Minerales

El contenido de minerales en espirulina, es diverso esto se debe a su pH, salinidad y temperatura.

**Tabla 8**

Contenido de minerales presentes en mg/100g de (*Arthrospira platensis*).

Mineral	mg / 100 g
Calcio	700
Cromo III	0.28
Cobre	1.2
Hierro	100
Magnesio	400
Manganeso	5.0
Fósforo	800
Potasio	1400
Sodio	900
Zinc	3.0

Fuente: (Seyidoglu, Inan, & Cenk, 2017).

## 2.8 Cromo trivalente

El cromo trivalente es un elemento traza esencial para los seres humanos y animales debido a que es un componente integral del factor de tolerancia de la glucosa (FTG). Este factor está formado por moléculas de cromo III el cual facilita la entrada de insulina a nivel celular. Mejorando la utilización de la glucosa lo que favorece la síntesis de proteína, y por ende, una reducción en la producción de tejido adiposo (Gàmez, Sáenz, & Morales, 2002).

Los beneficios del cromo III en la salud humana, dentro del mantenimiento de los niveles de colesterol y azúcar en la sangre. Generan interés para su aprovechamiento dentro de la formulación de dietas alimenticias para animales. En los últimos años se ha realizado diferentes estudios no solo con el objetivo de mejorar la eficiencia de la producción, también el perfil nutricional del producto final (Amata, 2013).

El cromo (Cr III) es un mineral esencial al cual se le atribuyen algunos efectos benéficos sobre la función biológica del ser humano. Químicamente se encuentra en varios estados de oxidación desde -2 hasta +6. Los estados de oxidación más estables son el trivalente (+3) y el hexavalente

(+6). El Cr<sup>+3</sup> es la forma en la cual se encuentra mayor estabilidad química el cual está relacionado al contenido de nitrógeno, oxígeno o radicales sulfuro, formando complejos octaédricos (Gómez & Magaña, 2003). Además, es el átomo central en el “factor de tolerancia de la insulina (GTF)”, componente similar a la hormona que trabaja con la insulina para transportar la glucosa de la sangre a las células. El GTF requiere niacina, tres aminoácidos, zinc y manganeso, que normalmente se encuentra en el cuerpo o en la alimentación. Con la adición del cromo, El organismo puede producir el GTF necesario. Con lo que los niveles de azúcar en la sangre se encontrarán dentro de lo normal (Nature's, 2017). El hígado también requiere de cromo para producir ácidos grasos, lecitina, colesterol y lipoproteínas.

### **2.8.1 El cromo trivalente como factor de tolerancia a la glucosa**

La función principal del cromo III, es potenciar el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y aminoácidos, mejorando los efectos de la insulina en la sangre (Roa, Ram, & Neto, 2010).

El cromo III como de factor de tolerancia a la glucosa (FTG), aumenta la capacidad de las células para regular los niveles de insulina en la sangre. Por lo que un déficit provoca un deterioro del metabolismo de la glucosa dada la mala eficiencia de la insulina. Presentando síntomas ocasionados por diabetes y enfermedades cardiovasculares (Ibarra, 2009).

### **2.8.2 Mecanismos de Acción del Cromo III**

El mecanismo de acción del cromo III en el control de la glucosa sanguínea, se debe a que se potencializa la acción de la insulina, por lo que los requerimientos de insulina serán más bajos. El cromo incrementa la unión insulina-receptores celulares, debido a que incrementa el número de receptores celulares (Ibarra, 2009).



### **2.8.3 Cromo III en nutrición animal**

El uso del cromo III (orgánico e inorgánico), en dietas alimenticias para animales se ha incrementado, especialmente en animales de granja (Gúzman, 2000). Atribuyéndole beneficios sobre el mecanismo de la insulina y el manejo del estrés.

(Chica, Restrepo, & Cárdenas, 2010), Al suplementar la dieta de pollos de engorde, con Cr – levadura en ambientes cálidos (31 y 35 °C) y con humedad elevada (78%), obtuvo una reducción sobre el cortisol sérico, presentando un efecto anti-estrés importante.

### **2.8.4 Biodisponibilidad**

La disponibilidad de Cromo III dentro del intestino es baja, variando entre un 0,5% hasta 2%, dependiendo de la ingesta, el resto es excretado por heces, bilis y orina. Tras su absorción, es distribuido y almacenado en varios tejidos, con mayor concentración en riñones, músculo, hígado, bazo y tejido óseo (Lopez, Lopez, & Lopez, 2016).

## **2.9 Componentes sanguíneos**

La hematología en peces es importante dentro del manejo nutricional, ya que permite evaluar la interacción entre los nutrientes y el desarrollo del pez, además de ser un indicador fisiológico de disfunción orgánica por estrés (Alaye & Morales, 2013).

### **2.9.1 Insulina**

La insulina es una hormona secretada en los islotes de Langerhans del páncreas, interfiere en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (Gónzales & Martínez, 2001). La secreción se encuentra controlada por diferentes señales del organismo como: aumento de los niveles de glucosa y metabolitos en el plasma, secreción de hormonas gastrointestinales, activación de nervios parasimpáticos, durante la llegada del alimento al tubo digestivo (Fortich, 2015).

La síntesis se efectúa en los ribosomas del retículo endoplásmico rugoso, como un precursor de cadena única denominado preproinsulina en las células  $\beta$  del páncreas. En peces presenta características comunes a los demás invertebrados (Rojas C. , 2005).

El mecanismo de acción más importante de la insulina es la regulación del transporte de la glucosa en células adiposas y musculares. Promoviendo la translocación del transportador de la glucosa (Olivares & Arellano, 2008). Además de acelerar la incorporación de aminoácidos en varios órganos, en especial en el hígado y el tejido muscular, donde también activa la síntesis de glucógeno y la lipogénesis (Fortich, 2015).

### **2.9.2 Glucosa en peces**

En vertebrados, generalmente en mamíferos, la glucosa es la fuente principal de energía para las células y constituye la molécula central en el metabolismo (Hemre, Mommsen, & Krogdahl, 2002). Sin embargo, en peces, se manifiesta de la poca “tolerancia” a la glucosa, debido a la escasa utilización y capacidad de almacenamiento de la glucosa encontrada en estudios con dietas de alto contenido de carbohidratos o tratamientos con glucosa.

Se han determinado diversos factores los cuales podrían estar afectando la utilización de los carbohidratos de la dieta en comparación a los resultados encontrados en mamíferos, como la actividad menor de algunos enzimas implicados en la asimilación de la glucosa, los niveles plasmáticos de insulina, el escaso número de receptores de insulina y las diferencias en los mecanismos de regulación de los transportadores de glucosa (Moon, 2001).

Después de la ingesta del alimento, los niveles de glucosa en la sangre aumentan, durante el transporte la glucosa se introduce al interior de la célula donde es utilizada como fuente de energía o se almacena como glucógeno. Siendo el metabolismo de los hidratos de carbono una de las rutas principales del metabolismo celular.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Ubicación del lugar de investigación

El presente trabajo investigativo se llevó a cabo en: el área de producción trutícola Paylones y Laboratorio de Acuicultura y Recursos Acuáticos, de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

##### 3.1.1 Ubicación política

La Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I se encuentra localizada en la Hacienda “El Prado”, perteneciente a la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui, parroquia San Fernando.

##### 3.1.2 Ubicación geográfica

El proyecto Acuícola de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria se encuentra localizado en las siguientes coordenadas geográficas:

- Altitud: 2940 m.s.n.m.
- Latitud: 0°23'20" S.
- Longitud: 78°24'44" O.



**Figura 3** Vista aérea del proyecto acuícola (A) y del laboratorio de recursos acuáticos (B)  
(GoogleMaps, 2018)

### 3.1.3 Ubicación ecológica

La Carrera de Ingeniería Agropecuaria ubicada en la Hacienda “El Prado “, se encuentra dentro de un piso latitudinal Montano Bajo, zona de vida Bosque Húmedo, cuenta con una temperatura promedio anual de 13.89 °C, humedad relativa promedio anual de 69.03% y una precipitación anual de 1285mm/año.

## 3.2 Materiales

### 3.2.1 Biológicos

- 180 peces juveniles de trucha arco iris con pesos iniciales de  $70 \pm 5$  g/ unidad,  $Cv = 5\%$ .
- Cepa de *Arthrospira platensis* comercializada por Andes Espirulina.

### 3.2.2 Materiales de Campo

- Alimento balanceado para trucha arco iris, 44% de proteína
- Cooler
- Baldes
- Tinas plásticas (capacidad 60 litros)
- Redes de pesca
- Bandejas plásticas

### 3.2.3 Laboratorio

- Tubos de ensayo
- Tubos de Kjeldahl
- Tubos capilares
- Jeringas de 3mL
- Vasos de precipitación
- Matraz aforado

- Porta y cubre objetos
- Guantes
- Matraces
- Fundas ziploc
- Papel filtro
- Tubos eppendorf
- Regla para la lectura del hematocrito

#### **3.2.4 Equipos**

- Molinos manuales
- Balanza electrónica
- pH metro
- Autoclave
- Microscopio óptico
- Incubadora
- Termómetro
- Refrigerador
- Estufa
- Cámara de espectrofotometría de absorción atómica
- Espectrofotómetro UV
- Balanza analítica.
- Computadora
- Cámara fotográfica
- Cuaderno de campo

### **3.2.5 Reactivos**

- Eugenol
- Estándar de cromo trivalente
- Kit de glucosa
- Heparina sódica
- Bicarbonato de sodio
- Carbonato de sodio
- Ácido nítrico al 70%
- Alcohol

### **3.3 Métodos**

La presente investigación se realizó en dos fases correctamente definidas, fase en campo y laboratorio, las cuales se detallan a continuación:

#### **3.3.1 Fase de campo**

##### **3.3.1.1 Limpieza de las piscinas**

Las piscinas fueron limpiadas y desinfectadas con carbonato de calcio antes de sembrar los peces. Posteriormente la limpieza se realizó una vez por semana, evitando la propagación de hongos en los peces.

##### **3.3.1.2 Clasificación de peces**

La clasificación se realizó con el objetivo de trabajar con animales completamente sanos, y cuyo peso se encuentre en un promedio de  $70 \pm 5$  g, obteniendo una población homogénea para posteriormente mediante la inclusión de los tratamientos obtener resultados adecuados.

Los peces clasificados fueron sembrados en tres piscinas las cuales se encontraban divididas en cuatro unidades, con un total de 12 unidades experimentales.

### 3.3.1.3 Aclimatación de peces

Los peces tuvieron un período de adaptación de 10 días, en este lapso de tiempo se les suministró una cantidad de 31g de balanceado (BIOMIX 44% de proteína) por unidad experimental, dividiéndolas en cuatro raciones al día, en horarios establecidos (9:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas).

Las piscinas en las cuales se sembraron las truchas, presentaron un promedio de temperatura de 14.46 °C. Estas piscinas se encuentran bajo invernadero, en condiciones ambientales controladas. La tasa de recambio del agua fue del 80%, con un sistema alterno de aireación con mangueras difusoras. Este sistema se activó después de cada comida.

### 3.3.1.4 Muestreo de animales

Con un nivel de confianza del 95% y poder de la prueba del 85%, considerando niveles de estrés en la biomasa en proceso y costos del análisis se aplicó la siguiente ecuación matemática:

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

Dónde:

n= Tamaño de muestra

$t_{\alpha}$ = Valor de la distribución normal, para un nivel de confianza deseado

CV= Coeficiente de variación

L= Error aceptado

En el presente estudio se trabajará con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0.05$ ).

### 3.3.1.5 Parámetros morfométricos y productivos

Los parámetros morfométricas evaluados fueron: peso corporal (g), longitud total (cm), longitud parcial (cm) y ancho (cm).

Los datos morfométricos (peso y longitudes) fueron evaluados, cada 10 días. Para la fácil manipulación de los peces se los anestesió con eugenol en una dosis de 3 ppt (partes por mil) colocados en una tina con agua. Posteriormente con ayuda de una balanza (Micra Basic SD, apreciación 1 g) se procedió a tomar el peso de cada individuo.

Para la toma de las longitudes (total, caudal y ancho) se usó un ictiómetro (apreciación 1 cm). Finalmente, los peces fueron desinfectados con sal en grano a una concentración de 20g/L y ácidos orgánicos para ser recuperados en una tina con aireación y luego ser enviados a las unidades experimentales.

Con los datos morfométricas obtenidos se pudo evaluar los parámetros productivos como: ganancia de peso, índice de condición corporal, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia y tasa de crecimiento específico.



**Figura 4** Toma de parámetros morfométricos

### 3.3.1.6 Parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros físico-químicos (temperatura, oxígeno y pH), de cada piscina fueron evaluados con el oxímetro (YSI, Professional Plus), una vez a la semana en un horario establecido (12:00 pm) durante toda la fase investigativa.



### 3.3.2 Fase de laboratorio

#### 3.3.2.1 Determinación de Cromo trivalente presente en *Arthrospira platensis*.

Para la determinación del contenido de cromo trivalente en las muestras se realizó lo siguiente:

##### a. Calibración del equipo de espectrofotometría de absorción atómica

La curva de calibración del cromo se realizó de la siguiente manera: se preparó una solución madre 1:9 (estándar de cromo: agua ionizada), de la cual se tomó las siguientes cantidades respectivamente 0; 0.1; 0.25; 0.4; 0.6; 0.7 y 1 mL, fueron colocadas en matraces aforados (50 mL), se añadió 2 mL de ácido nítrico al 70% y se aforó con agua destilada. Posteriormente en tubos de ensayos etiquetados se tomó 15 mL de cada solución los cuales fueron llevadas al equipo para su lectura.

Se obtuvo una curva de calibración que se ajustó a la siguiente ecuación:  $ABS = 0.06503Con + 0.003$ , con un  $R^2 = 0.998$ . Para validar la curva se realizó la lectura de tres estándares previamente.



**Figura 5** Calibración del equipo de espectrofotometría de absorción atómica

### **b. Digestión de la muestra de espirulina (*Arthrospira platensis*)**

Para la digestión de *Arthrospira platensis* se basó en el protocolo descrito en “Métodos de análisis de tejidos vegetales” (Sadzawka, Grez, Carrasco, & Mora, 2004), el cual se describe a continuación:

- Pesar 3 gramos de muestra de muestra seca y molida para ser colocados en crisoles previamente etiquetados
- Colocar los crisoles en una estufa a temperatura de 300°C durante 8 horas, dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Agregar 1 mL de agua destilada para humedecer las cenizas
- Agregar 10 mL de ácido nítrico, dejar reposar durante 30 minutos
- Filtrar las muestras en matraces aforados de 50 mL y completar con agua destilada.
- Colocar 10 mL de muestra en tubos de ensayo y proceder a la lectura

#### **3.3.2.2 Preparación de dietas alimenticias**

La formulación de las dietas alimenticias se realizó cada tres días para posteriormente ser almacenadas en fundas ziploc a temperatura ambiente durante un período no mayor a cuatro días.

La metodología empleada en la elaboración del alimento balanceado se detalla a continuación: El alimento balanceado fue triturado con un molino manual, posteriormente se colocó en bandejas donde se incorporó *Arthrospira platensis*, de acorde a los tratamientos planteados (Tabla 9). Los ingredientes fueron mezclados homogéneamente, añadiéndole una solución de gelatina sin sabor con agua destilada en una concentración de 1:100, consecutivamente la masa fue pasada por un molino de carne formando nuevos pellets de aproximadamente 4 mm de diámetro, finalmente el alimento fue secado a temperatura ambiente durante 24 horas.



**Figura 6** Preparación de dietas alimenticias a probar

### 3.3.2.3 Extracción de sangre

Se utilizó jeringuillas de 3mL heparinizada con aguja calibre 23 G. Los peces fueron anestesiados con eugenol para la manipulación. La técnica de extracción empleada fue punción caudal, de la cual se tomó 0.5 mL de sangre de cada animal para ser recolectados en tubos eppendorf de 3mL previamente etiquetados y auto clavados, los cuales fueron colocados en un enfriador, a una temperatura de 4°C aproximadamente hasta ser trasladados al laboratorio para los respectivos análisis.



**Figura 7** Toma de muestras de sangre

### 3.3.2.4 Determinación de glucosa en la sangre de la trucha arco iris

La determinación de los niveles de glucosa en la sangre se realizó al día 15, 45, 75 y 90 durante la fase de investigación. Se determinó mediante el kit Glucose liquicolor (HUMAN), siguiendo las siguientes especificaciones:

- a. Centrifugar las muestras durante 10 minutos a 2500 rpm.
- b. Tomar 10  $\mu\text{L}$  de plasma de los tubos eppendorf y colocar en tubos de ensayo previamente etiquetados, posteriormente añadir 1000  $\mu\text{L}$  de reactivo. Además, se debe preparar un blanco (1000  $\mu\text{L}$  de reactivo) y un estándar (1000  $\mu\text{L}$  de reactivo + 10  $\mu\text{L}$  de estándar).
- c. Colocar los tubos en la incubadora durante 5 minutos a 37 °C.
- d. Finalmente, medir la absorbancia en el espectrofotómetro (Thermo Spectronic, GENESYS 20) a 546 nm.

Para el cálculo de glucosa se aplicó la siguiente ecuación:

$$C = 100 * \frac{A_{\text{muestra}}}{A_{\text{estándar}}} \text{ (ml/dl)}$$

Dónde:

A muestra = Absorbancia de la muestra

A estándar = Absorbancia del estándar

### 3.3.2.5 Hematocrito

Se utilizaron tubos de ensayo previamente etiquetados y con algodón en la base, donde se colocaron los tubos capilares sin anticoagulante con muestra de sangre sellada previamente, las cuales fueron centrifugadas a 3500 rpm durante 10 minutos. Finalmente se colocó el capilar en la regla hematocimétrica para su lectura.



*Figura 8* Determinación de porcentaje de hematocrito

### 3.3.2.6 Determinación del contenido de cromo trivalente en trucha arco iris

#### a. Recolección de muestras

Se sacrificó un total de 24 truchas, para recolectar las muestras de músculo, hígado y riñón, según protocolos convencionales (ICA, 2009).

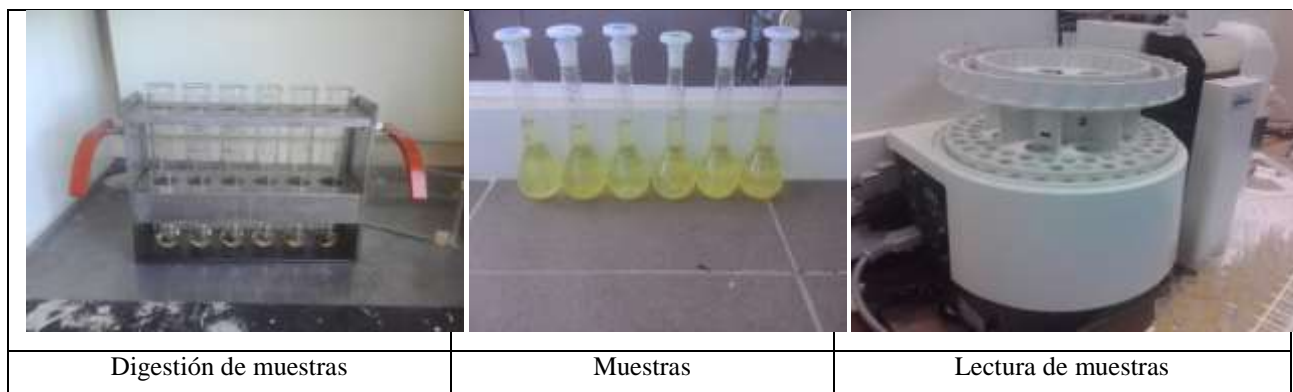
Se realizó un corte del músculo, retirando la presencia de huesos y escamas que puedan alterar el resultado. El hígado fue retirado con un bisturí eliminando la presencia de la bilis, para la recolección del riñón se utilizó una paleta la cual permitió recolectar la mayor cantidad de muestra, el exceso de sangre se adsorbió con papel toalla. Las muestras fueron colocadas en fundas ziploc previamente etiquetadas de acuerdo al tratamiento, y llevadas a refrigeración.

#### b. Digestión de muestras

La preparación de las muestras se hizo mediante digestión por vía húmeda, según protocolos (INEN, 2013) para detección de minerales en alimentos. El procedimiento se detalla a continuación:

- Pesar 5 g de músculo de trucha arco iris.
- Colocar las muestras de músculo, hígado y riñón en matraces de Kjeldhal previamente etiquetados.

- Añadir 15 mL de ácido nítrico al 70% a las muestras de músculo.
- Añadir 10 mL de nítrico al 70%, a las muestras de hígado y riñón, debido al peso de las muestras (<5g)
- Llevar las muestras al equipo kjeldhal para la digestión, hasta que llegar a una temperatura de 90 a 100°C, que es el punto de ebullición del ácido nítrico. Aquí permanecieron durante 2 horas.
- Retirar las muestras, y enfriar durante 30 minutos a temperatura ambiente.
- Filtrar las muestras en matraces aforados de 50 mL previamente etiquetados y completar con agua destilada.
- Homogenizar las muestras y se tomar 10 mL en tubos de ensayo, llevarlas al equipo de espectrofotometría de absorción atómica por flama para su lectura.



**Figura 9** Digestión y lectura de muestras

### 3.4 Diseño experimental

#### 3.4.1 Tipo de diseño

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA). El bloqueo está dado por el efecto tanque. Con una estructura de tratamientos unifactorial (% de espirulina) con tres repeticiones.

### 3.4.2 Modelo matemático

A continuación se describe el modelo matemático (Montgomery, 2004) utilizado en el estudio de investigación.

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : niveles de cromo trivalente

U: media general

$T_i$ : efecto del i-ésimo dieta

$B_j$ : efecto del j-ésimo bloque

$E_{ij}$ : error experimental.

### 3.4.3 Factores

Los factores evaluados dentro de la presente investigación fueron las dietas alimenticias con diferentes niveles de inclusión (%) de espirulina en etapa de engorde de la trucha arco iris. Estos niveles fueron determinados en base a un estudio previo realizado en el año 2017 en la carrera de Ing. Agropecuaria IASA – ESPE (Molina J. C., 2017).

### 3.4.4 Tratamientos

Dentro de la investigación se evaluaron cuatro tratamientos en los cuales se incluyó un porcentaje de espirulina por ración alimenticia, los cuales se detallan a continuación.

**Tabla 9**

*Tratamientos suministrados a la trucha arco iris en etapa de engorde*

Tratamiento	Descripción
T0	Alimento balanceado
T1	Alimento balanceado + 0.5 % de espirulina
T2	Alimento balanceado + 1.0 % de espirulina
T3	Alimento balanceado + 1.5% de espirulina

El suministro de las dietas alimenticias se realizó cuatro veces al día en horarios establecidos (9am; 12pm, 2pm y 4pm), durante tres meses una vez establecido el proyecto investigativo.

### **3.4.5 Características de las Unidad Experimentales**

Se usaron tres piscinas circulares de 9 m<sup>3</sup> de capacidad. Las unidades experimentales fueron cada jaula de la división de cada piscina (4 jaulas por piscina) teniendo un total de 12 unidades experimentales. En la cual se alojaron 15 truchas arco iris por unidad experimental teniendo una población total de 180 individuos con un peso promedio de 70g con un coeficiente de variación del  $\pm 5\%$ .



*Figura 10* Esquematización de las unidades experimentales

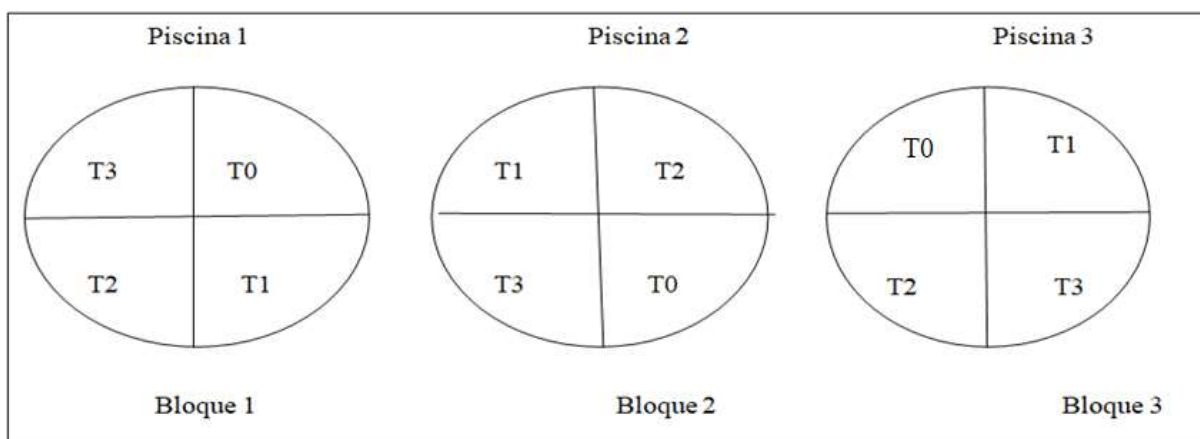
### **3.4.6 Repeticiones**

El ensayo contó con tres repeticiones por tratamiento con el objetivo de que el análisis estadístico sea representativo.

### **3.4.7 Croquis del diseño**

La asignación de cada tratamiento dentro de los bloques se asignó de la siguiente forma aleatoria.





**Figura 11** Croquis de las unidades experimentales

### 3.4.8 Variables de respuesta evaluadas

Las variables evaluadas estuvieron de acuerdo a los objetivos planteados en la investigación.

#### 3.4.8.1 Variables morfométricas

Las longitudes (total, parcial y ancho) y el peso corporal fueron evaluados y registrados cada 10 días desde el inicio de la investigación hasta el final. Se utilizó una balanza analítica y un ictinómetro.

#### 3.4.8.2 Variables productivas

Las variables productivas fueron evaluadas empleando las siguientes ecuaciones que se detallan a continuación (Jiménez & Guerra, 2011):

##### Factor de conversión alimenticia

$$F. C. A. = \frac{\text{Total de alimento consumido (g)}}{\text{Ganancia de peso (g)}}$$

##### Eficiencia alimenticia (EA)

$$EA = \frac{\text{biomasa ganada (g)}}{\text{alimento ingerido (g)}} * 100$$

### Ganancia de peso

$$\text{Ganancia de peso} = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Tiempo (días)}}$$

### Índice de condición corporal

$$\text{I. C. C} = \frac{\text{Peso corporal (g)}}{\text{Longitud total (cm)}^3} * 100$$

### Tasa de crecimiento específico

$$\text{T. C. E} = \frac{\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}}{\text{Tiempo (días)}} * 100$$

### Mortalidad

$$\text{Mortalidad(\%)} = \frac{\text{Número de peces muertos}}{\text{Número de peces vivos}} * 100$$

#### 3.4.8.3 Variables hematológicas

Las variables hematológicas evaluadas fueron niveles de glucosa y hematocrito.

#### 3.4.8.4 Contenido de cromo trivalente en el musculo, hígado y riñón.

Se determinó el contenido de cromo trivalente en el musculo, hígado y riñón de la trucha arco iris, una vez finalizada la fase experimental en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica.

Para obtener mg/Kg (ppm) del elemento (Cr III) presente en la muestra se aplicó la siguiente fórmula:

$$\frac{mg}{Kg} = \frac{A * B}{C}$$

En donde:

A = Concentración en mg/kg de la muestra a interpolar en la curva de calibración.

B = Volumen final al que se llevó la muestra (mL).

C = Peso de la muestra (g)

### 3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos obtenidos en el estudio, se realizó mediante el Software estadístico INFOSTAT 2017, comprobando los supuestos de normalidad (ShapiroWilk) y homogeneidad de varianza (LEVENE), lo que garantizó el correcto desarrollo de los análisis. Para el análisis de varianza se empleó modelos generales lineales para medias repetidas en el tiempo.

Las variables morfológicas y productivas fueron evaluadas mediante un DBCA (diseño de bloques completamente al azar), mientras que las variables hematológicas y contenido de cromo como un DCA (diseño completamente al azar).

Para establecer diferencia significativa entre tratamientos se realizó una prueba de comparación de medias Duncan entre tratamientos a un nivel de significancia del 0.5 %.

#### 3.5.1 Esquema del análisis de varianza (ANAVA)

**Tabla 10**

*Esquema de la tabla de análisis de varianza (ANAVA) para un DBCA*

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamiento	(t-1)	3
Bloque	(b-1)	2
Error experimental	(t-1)*(b-1)	6
Total	(n-1)	11

**Tabla 11**

*Esquema de la tabla de análisis de varianza (ANAVA) para un DCA*

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamiento	(n-1)	
Error experimental	(n-1) -(t-1)	
Total	(n-1)	

## CAPÍTULO IV

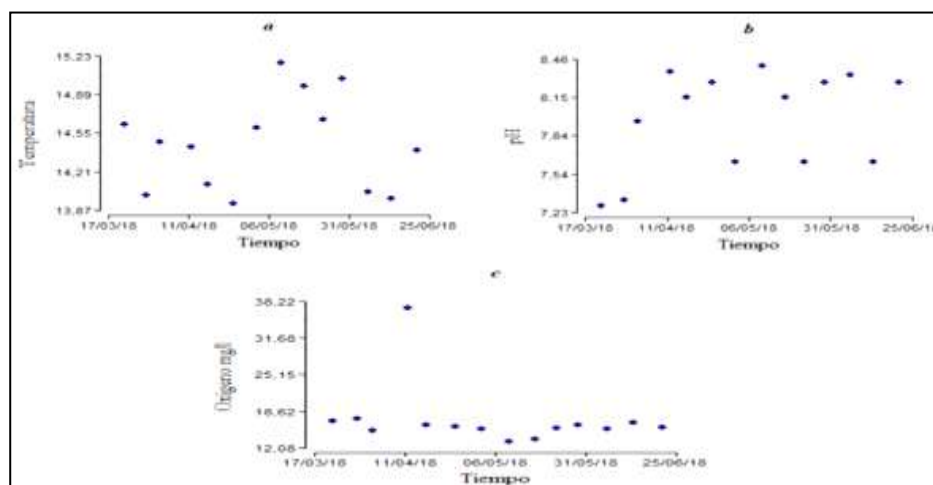
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Condiciones físico-químicas del agua.

Los promedios de los parámetros físico-químicos del agua registrados desde el inicio hasta el final de la fase experimental, indican que se encuentran dentro de las condiciones óptimas para el cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de engorde (tabla 12).

**Tabla 12**  
*Promedio de los parámetros fisicoquímicos registrados durante la fase experimental*

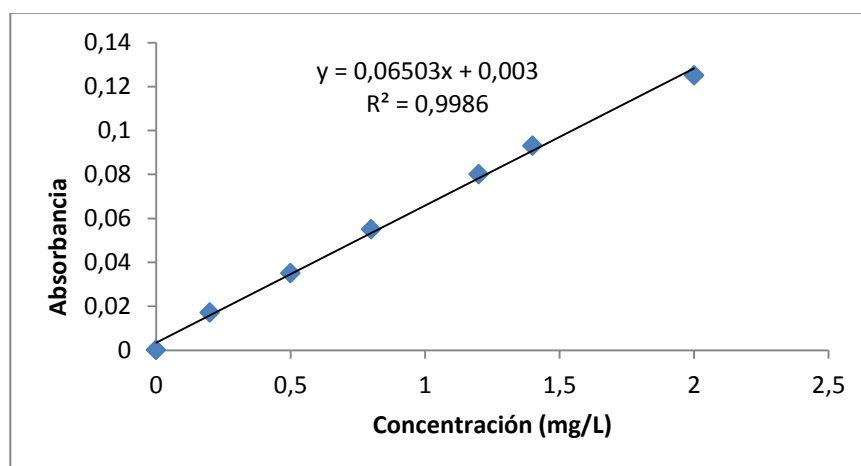
Parámetros	Media	Mín.	Máx.
Temperatura	14,46±0,46	13,6	15,3
Oxígeno(mg/l)	17,16±5,74	12,65	39,43
pH	7,98±0,39	7,2	8,45



**Figura 12** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua (a: temperatura, b: pH y c: oxígeno)

## 4.2 Contenido de Cromo trivalente en espirulina (*Arthrospira platensis*)

Se obtuvo una curva de calibración del equipo de espectrofotometría de absorción atómica, la cual se ajustó a la siguiente ecuación matemática  $y = 0,06503X + 0,003$  con un  $R^2 = 0,9986$ . Para la validación de la curva se corrió tres estándares, con los cuales se determinó que el equipo pierde sensibilidad con concentraciones menores a 0.1mg/Kg de Cr III.



**Figura 13** Curva de Calibración para la determinación de Cr III

El contenido de cromo III en espirulina fue de  $2,48 \pm 0,34$ mg/Kg.

## 4.3 Variables morfométricas

### 4.3.1 Peso

Los datos de la variable peso corporal tomados durante la fase de investigación (90 días), cumplieron con los supuestos de homocedasticidad y normalidad, por lo que posteriormente se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%, en el cuál no se encontró un efecto significativo para la interacción tiempo por tratamiento ( $p=0,9651$ ), sin embargo, se encontró un efecto significativo para la variable tratamiento al final del período ( $p=0,0003$ , tabla 14).

En la tabla 13 se observa los promedios del peso corporal tomados cada 10 días durante toda la fase de investigación (90 días). Al inicio de la investigación (día 0) los peces muestran pesos similares entre tratamientos debido a que se realizó una selección previamente, sin embargo al finalizar la investigación, se encontró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las medias de los pesos de T2 (1 % *Arthrospira platensis*)  $223.6 \pm 2.57$ , T0 (tratamiento control)  $210.91 \pm 3.61$  y T3 (1.5 % *Arthrospira platensis*)  $209.6 \pm 2$ .

**Tabla 13**

*Promedio  $\pm$  error estándar del peso corporal (g) bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis*

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
0	80,16 $\pm$ 0,98p	79,6 $\pm$ 2,57p	81,58 $\pm$ 0,58p	78,82 $\pm$ 2,52p
10	89,02 $\pm$ 0,6p	88,78 $\pm$ 0,35p	90 $\pm$ 0,68p	85,14 $\pm$ 2,29p
20	110,38 $\pm$ 2,23°	107,09 $\pm$ 0,78o	106,89 $\pm$ 0,6o	102,58 $\pm$ 3,61o
30	133,67 $\pm$ 4,3mn	129,2 $\pm$ 0,88n	129,98 $\pm$ 0,49n	124,87 $\pm$ 4,68n
40	148,42 $\pm$ 4,82kl	149,27 $\pm$ 2,91kl	147,89 $\pm$ 0,99kl	142,62 $\pm$ 3,87lm
50	164,42 $\pm$ 5,68ij	163,27 $\pm$ 4,04ij	164,55 $\pm$ 0,49ij	155,98 $\pm$ 4,07jk
60	177,84 $\pm$ 6,41gh	178,06 $\pm$ 3,15gh	177,71 $\pm$ 1,87gh	171,13 $\pm$ 4,47gi
70	190,13 $\pm$ 7,08ef	192,11 $\pm$ 3,51ef	190,13 $\pm$ 3,46fe	182,76 $\pm$ 3,8fg
80	198,6 $\pm$ 5,08de	206,91 $\pm$ 4,21bcd	208,93 $\pm$ 2,56bcd	200,62 $\pm$ 3,18cde
90	210,91 $\pm$ 3,61bcd	216,47 $\pm$ 5,64ab	223,6 $\pm$ 2,57a	209,6 $\pm$ 2,68bd

**P=0.9651**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

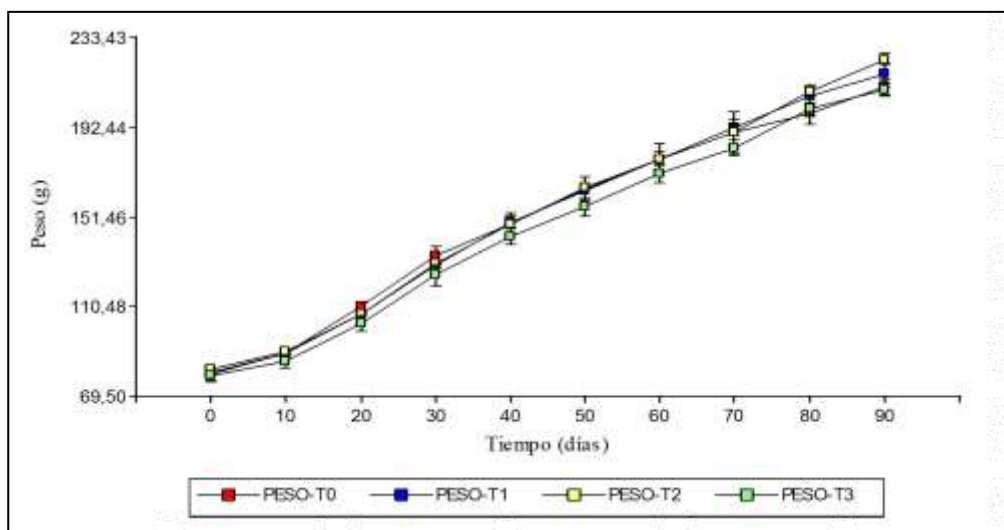
**Tabla 14**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la ganancia de peso (g) para cada tratamiento*

Tratamiento	Peso promedio (g)
T2	152,13 $\pm$ 8,72a
T1	151,07 $\pm$ 8,62a
T0	147,36 $\pm$ 8,22b
T3	145,41 $\pm$ 8,29b

**p=0.0003**

En la figura 14 se observa que a partir del día 0 hasta el día 30 T0 (tratamiento control) presenta mayor ganancia de peso seguido por T2 (1% de *Arthrospira platensis*). A partir del día 50, T2 comienza a tener mayor ganancia de peso manteniéndose estable hasta el día 90. Mientras que T1 y T3 no presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) a lo largo de la investigación, pero mantuvieron promedios de pesos superiores a T0.



**Figura 14** Promedio  $\pm$  error estándar del peso corporal a través del tiempo

#### 4.3.2 Longitud total

Los datos de la variable longitud total evaluadas cada 10 días durante toda la fase de investigación (90 días) cumplieron con los supuestos de homocedasticidad y normalidad. Se realizó el análisis de varianza a un nivel de confianza del 95% en el que se observó que no existió un efecto significativo de la interacción tratamiento y tiempo ( $p = 0.9998$ ) sin embargo existió un efecto positivo entre tratamientos ( $P = 0.0009$ , tabla 16).

En la tabla 15 se muestra los promedios en (cm) alcanzados durante toda la fase de investigación. Se puede observar que al día 0 de la investigación la variable LT no presenta diferencias entre tratamientos esto se debe a la selección previa de los individuos. Sin

embargo, en el transcurso de los días y al final de la fase de investigación no se presentó diferencias en los promedios de la longitud total entre los tratamientos. Al día 90 T2 presentó la mayor de las medias ( $26.81 \pm 0.14$ ) seguida por T0 ( $26.79 \pm 0.28$ ), T1 ( $26.56 \pm 0.33$ ) y T3 ( $26.16 \pm 0.3$ ).

**Tabla 15**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la longitud total (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
0	19,11 $\pm$ 0,16s	18,88 $\pm$ 0,22s	19 $\pm$ 0,09s	18,68 $\pm$ 0,3s
10	20,36 $\pm$ 0,17pqr	20,26 $\pm$ 0,14pqr	20,2 $\pm$ 0,02qr	19,81 $\pm$ 0,3r
20	21,29 $\pm$ 0,7o	21,11 $\pm$ 0,06o	21,06 $\pm$ 0,05op	20,75 $\pm$ 0,37opq
30	22,89 $\pm$ 0,11mn	22,42 $\pm$ 0,03n	22,52 $\pm$ 0,11n	22,26 $\pm$ 0,4n
40	23,37 $\pm$ 0,36klm	23,51 $\pm$ 0,06klm	23,42 $\pm$ 0,04klm	23,01 $\pm$ 0,4lmn
50	23,86 $\pm$ 0,24jk	23,97 $\pm$ 0,38ijk	24,13 $\pm$ 0,13hijk	23,68 $\pm$ 0,3jkl
60	24,68 $\pm$ 0,35ghi	24,73 $\pm$ 0,14fghi	24,8 $\pm$ 0,05fgh	24,37 $\pm$ 0,34hij
70	25,44 $\pm$ 0,31def	25,47 $\pm$ 0,18def	25,59 $\pm$ 0,17de	25,2 $\pm$ 0,35efg
80	25,64 $\pm$ 0,4de	26,05 $\pm$ 0,25bcd	26,02 $\pm$ 0,16cd	25,66 $\pm$ 0,33de
90	26,79 $\pm$ 0,28ab	26,56 $\pm$ 0,33abc	26,81 $\pm$ 0,14a	26,16 $\pm$ 0,3abcd

**p=0.9998**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 16**

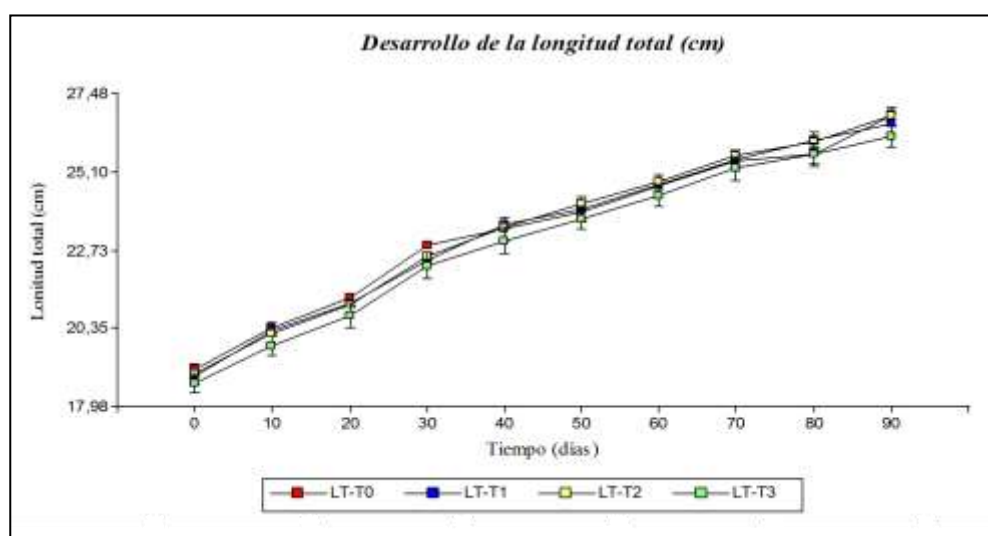
*Promedio  $\pm$  error estándar de la longitud total (cm) por tratamiento*

Tratamientos	Longitud total (cm)
T2	23,36 $\pm$ 0,46a
T0	23,34 $\pm$ 0,44a
T1	23,3 $\pm$ 0,46a
T3	22,96 $\pm$ 0,46b

**P=0.0009**



En la figura 15 se observa el desarrollo de la variable longitud total (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis* durante toda la fase de investigación. Se puede apreciar que la longitud total de los individuos con T0, fue superior hasta el día 30, a partir del día 40 T2 empieza a tener una mayor longitud manteniendo esta tendencia hasta el final de la investigación. Mientras que T3 siempre mantuvo una longitud total menor al resto de los tratamientos durante toda la fase de investigación.



**Figura 15** Promedio  $\pm$  error estándar de la longitud total (cm) medidas en el tiempo

### 4.3.3 Longitud parcial

El cumplimiento de los supuestos, de los datos de la longitud parcial (cm) evaluada cada 10 días durante toda la fase de investigación fueron analizados mediante la prueba no paramétrica Fridman, posteriormente se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95% en el que se determinó que no hubo un efecto significativo para la interacción tiempo y tratamiento ( $p=0.999$ ), sin embargo, se encontró un efecto positivo para los tratamientos ( $p=0.0021$ , tabla 18).

La longitud parcial (cm) de los individuos de *Oncorhynchus mykiss* al día 0 y durante todo el tiempo de la fase de investigación fue similar entre los tratamientos (tabla 17), sin embargo, al

finalizar el período de investigación se pudo observar que los peces tratados con T0 (tratamiento control) presentaron una media mayor ( $21,98 \pm 0,3$ ) seguida por T2 ( $21,83 \pm 0,06$ ), T1 ( $21,5 \pm 0,31$ ) y finalmente por T3 ( $21,4 \pm 0,31$ ), con una diferencia de 0.58 cm entre T0 y T3.

**Tabla 17**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la longitud parcial (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
0	15,96 $\pm$ 0,13s	15,8 $\pm$ 0,3rs	15,73 $\pm$ 0,17qrs	15,6 $\pm$ 0,36s
10	16,62 $\pm$ 0,07pqr	16,46 $\pm$ 0,07opq	16,65 $\pm$ 0,06opq	16,21 $\pm$ 0,31qrs
20	17,49 $\pm$ 0,07n	17,29 $\pm$ 0,01no	17,32 $\pm$ 0,06no	16,95 $\pm$ 0,34nop
30	18,62 $\pm$ 0,22ml	18,39 $\pm$ 0,04m	18,47 $\pm$ 0,18m	18,16 $\pm$ 0,33m
40	19,19 $\pm$ 0,33lkji	19,43 $\pm$ 0,16kj	19,27 $\pm$ 0,02lkj	18,81 $\pm$ 0,35mlk
50	19,71 $\pm$ 0,13jihg	19,64 $\pm$ 0,31jih	19,75 $\pm$ 0,18jihg	19,5 $\pm$ 0,31kji
60	20,41 $\pm$ 0,22efg	20,3 $\pm$ 0,11efgh	20,52 $\pm$ 0,11ef	20,13 $\pm$ 0,36fghi
70	20,8 $\pm$ 0,38cdef	20,8 $\pm$ 0,18cdef	20,95 $\pm$ 0,12cde	20,65 $\pm$ 0,36def
80	21,3 $\pm$ 0,29abcd	21,5 $\pm$ 0,17abc	21,42 $\pm$ 0,09abc	21,04 $\pm$ 0,34bcde
90	21,98 $\pm$ 0,3ab	21,5 $\pm$ 0,31ab	21,83 $\pm$ 0,06ab	21,4 $\pm$ 0,31abc

**p=0.999**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 18**

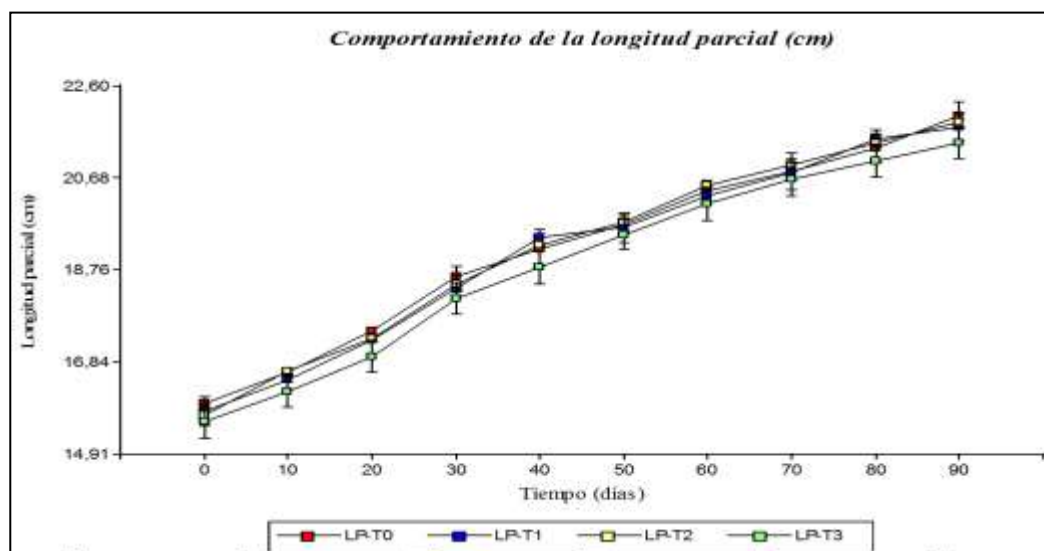
*Promedio  $\pm$  error estándar de la longitud parcial (cm) por tratamiento*

Tratamientos	Longitud parcial (cm)
T3	18,84 $\pm$ 0,36b
T1	19,13 $\pm$ 0,37a
T2	19,19 $\pm$ 0,37a
T0	19,21 $\pm$ 0,37a

P=0.0021

En la figura 16 se puede observar el desarrollo de la longitud parcial (cm) para cada tratamiento a través del tiempo. Los peces tratados con T3, mantuvieron medias inferiores

durante toda la fase de investigación (90 días) con respecto al resto de los tratamientos. Mientras que T2 tuvo un incremento en sus medias a partir del día 50 hasta el día 80, sin embargo, al día 90 fue superado por T0.



**Figura 16** Promedio  $\pm$  error estándar de la longitud parcial a través del tiempo

#### 4.3.4 Ancho

Los datos de la variable ancho (cm) fueron analizados mediante un análisis de varianza al 95% de confianza, previamente se verificó el cumplimiento de los supuestos de homocedasticidad y normalidad. No se encontró un efecto significativo para la interacción tiempo y tratamiento ( $p=0.7906$ ), sin embargo, existió un efecto significativo para la variable independiente tratamiento ( $p=0.0036$ , tabla 20).

El ancho de los individuos de *Oncorhynchus mykiss* tratados con T3 al día 40 fue menor a las de T1 y T2 y similar a las de T0 (tratamiento control). Después de esto las medias del ancho se mantienen similares entre los tratamientos hasta el día 80, al finalizar la investigación (día 90), se encontró diferencias significativas entre tratamientos (tabla 19). T2 presentó una media mayor

con  $6,39 \pm 0,05$  seguido por T1 con  $6,31 \pm 0,05$ , T3 con  $6,23 \pm 0,09$  y finalmente T0 (tratamiento control) con  $6,2 \pm 0,05$ . Con una diferencia de 0.2 cm entre T2 y T0.

**Tabla 19**

*Promedio  $\pm$  error estándar del ancho (cm) bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
0	3,49 $\pm$ 0,04n	3,5 $\pm$ 0,04n	3,64 $\pm$ 0,09n	3,53 $\pm$ 0,08n
10	4 $\pm$ 0,05m	4,04 $\pm$ 0,06m	3,98 $\pm$ 0,04m	4,01 $\pm$ 0,03m
20	4,38 $\pm$ 0,04l	4,36 $\pm$ 0,02l	4,4 $\pm$ 0,02l	4,37 $\pm$ 0,06l
30	4,96 $\pm$ 0,07k	4,92 $\pm$ 0,06k	4,94 $\pm$ 0,03k	4,92 $\pm$ 0,1k
40	5,19 $\pm$ 0,09ij	5,33 $\pm$ 0,08hi	5,33 $\pm$ 0,03hi	5,15 $\pm$ 0,05j
50	5,39 $\pm$ 0,04gh	5,51 $\pm$ 0,06fg	5,42 $\pm$ 0,05gh	5,41 $\pm$ 0,04gh
60	5,5 $\pm$ 0,02fgh	5,62 $\pm$ 0,06efg	5,54 $\pm$ 0,02f	5,48 $\pm$ 0,04fgh
70	5,72 $\pm$ 0,11cde	5,89 $\pm$ 0,03d	5,84 $\pm$ 0,04cd	5,82 $\pm$ 0,04cd
80	5,95 $\pm$ 0,08c	6 $\pm$ 0,06c	5,99 $\pm$ 0,04c	5,88 $\pm$ 0,07cd
90	6,2 $\pm$ 0,05b	6,31 $\pm$ 0,05ab	6,39 $\pm$ 0,05a	6,23 $\pm$ 0,09ab

**P=0.7906**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 20**

*Promedio  $\pm$  error estándar del ancho (cm) por tratamiento*

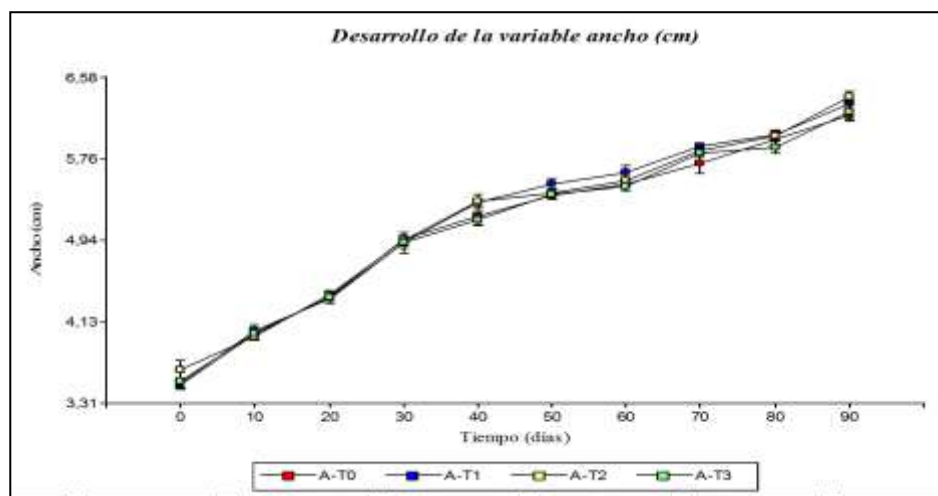
Tratamientos	Ancho(cm)
T0	5,08 $\pm$ 0,16a
T3	5,08 $\pm$ 0,15a
T2	5,15 $\pm$ 0,16b
T1	5,15 $\pm$ 0,16b

**p=0.0036**

En la figura 17, se observa que el comportamiento del ancho de la trucha arco iris bajo los diferentes tratamientos a través del tiempo. Se puede observar que el tratamiento control (T0)

presenta medias inferiores a las de los demás tratamientos (T1, T2, y T3) durante toda la fase de investigación.

T3 presentó medias mayores a partir del día 50 hasta el día 70, sin embargo, T2 al día 80 tuvo un incremento del promedio hasta la finalización de la investigación (día 90).



**Figura 17** Promedio  $\pm$  error estándar del ancho a través del tiempo

## 4.4 Variables productivas

### 4.4.1 Ganancia de peso (G.P)

Esta variable productiva fue analizada cada 10 días durante toda la fase de investigación. Los datos obtenidos cumplieron los supuestos de homocedasticidad y normalidad con una transformación a potencia al cuadrado, posteriormente se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%. En el cual se encontró un efecto significativo para la interacción tratamiento y tiempo ( $p=0,0182$ ).

En la tabla 21 se puede observar que la ganancia de peso entre tratamientos fue similar hasta el día 30. Al día 40 T1 (0.5% de *Arthrospira platensis*) presentó la mayor media de ganancia de peso con respecto a los demás tratamientos.

En el día 50 todos los tratamientos presentaron una ganancia de peso inferior a la de los anteriores días, una de las causas fue el estrés generado a los animales durante la limpieza de las piscinas disminuyendo el consumo del alimento.

A partir del día 60 T0 (tratamiento control) presentó un menor promedio de ganancia de peso hasta la finalización de la investigación. Mientras que T2 al día 80 y 90 incremento su media. El mayor promedio de la ganancia de peso al día 90 fue de T2 con  $1,46 \pm 0,16$  mientras que T0 y T3 presentaron medias menores  $0,92 \pm 0,19$  y  $0,9 \pm 0,05$  respectivamente (tabla 21).

**Tabla 21**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la ganancia de peso bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

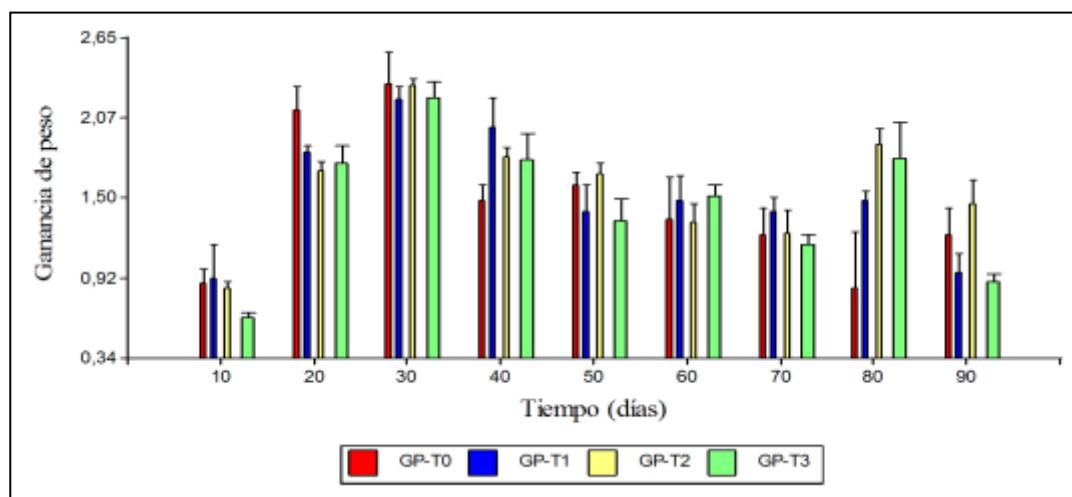
Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
10	0,89 $\pm$ 0,10lmn	0,92 $\pm$ 0,25klmn	0,84 $\pm$ 0,05mn	0,63 $\pm$ 0,04n
20	2,13 $\pm$ 0,17abcd	1,83 $\pm$ 0,05abcdef	1,69 $\pm$ 0,07cdefghi	1,74 $\pm$ 0,13cdefgh
30	2,33 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	2,21 $\pm$ 0,09a	2,3 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup>	2,23 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>
40	1,48 $\pm$ 0,11efghij	2,01 $\pm$ 0,21abcde	1,79 $\pm$ 0,04bcdefgh	1,78 $\pm$ 0,19bcdefgh
50	1,6 $\pm$ 0,09defghi	1,4 $\pm$ 0,19fghijkl	1,67 $\pm$ 0,08defghi	1,34 $\pm$ 0,15fghijklm
60	1,34 $\pm$ 0,31fghijklm	1,48 $\pm$ 0,19efghij	1,32 $\pm$ 0,14ghijklm	1,52 $\pm$ 0,08efghi
70	1,23 $\pm$ 0,19hijklm	1,4 $\pm$ 0,10fghijkl	1,24 $\pm$ 0,17hijklm	1,16 $\pm$ 0,07ijklm
80	0,85 $\pm$ 0,40mn	1,48 $\pm$ 0,07efghij	1,88 $\pm$ 0,11abcdefg	1,79 $\pm$ 0,26bcdefgh
90	0,92 $\pm$ 0,19hijklm	0,96 $\pm$ 0,14jklmn	1,46 $\pm$ 0,16efghijk	0,9 $\pm$ 0,05lmn

p=0,0182

\* *Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la figura 18 se observa el comportamiento de la variable productiva ganancia de peso para cada tratamiento durante toda la fase de investigación. Al día 30 todos los tratamientos presentaron un promedio mayor de ganancia de peso en la fase experimental.

Mientras que T2 (1 % de *Arthrospira platensis*) al día 70 presentó una declinación en su ganancia de peso, sin embargo, al día 80 y 90 presentó una media mayor que el resto de tratamientos.



**Figura 18** Promedio  $\pm$  error estándar de la ganancia de peso a través del tiempo

#### 4.4.2 Índice de condición corporal (I.C.C)

Los datos obtenidos durante toda la fase investigativa cumplieron con los supuestos de homocedasticidad y normalidad, posteriormente fueron analizados mediante un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%. En el cual se determinó que no hubo un efecto significativo para la interacción tratamiento y tiempo ( $p=0,3825$ ).

No se presentó diferencias significativas entre tratamientos (tabla 22) durante el tiempo de la investigación. Se puede observar que el índice de condición corporal de los individuos de *Oncorhynchus mykiss* mantiene una tendencia de crecimiento en el transcurso del tiempo a comparación del día 10.

Al finalizar la fase investigativa (día 90) los promedios para cada uno de los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T2 (1% de *Arthrospira platensis*) con  $1,18 \pm 0,01$ , T3 (1.5% de

*Arthrospira platensis*) con  $1,17 \pm 0,002$ , T1 (0.5% de *Arthrospira platensis*) con  $1,16 \pm 0,01$  y T0 (tratamiento control) con  $1,1 \pm 0,03$ . Siendo T2 quien presentó una media mayor en su índice de condición corporal sobre el resto de los tratamientos al día 90.

**Tabla 22**

*Promedio  $\pm$  error estándar del índice de condición corporal bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis*

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
10	$1,06 \pm 0,02g$	$1,07 \pm 0,02fg$	$1,09 \pm 0,003efg$	$1,1 \pm 0,02defg$
20	$1,14 \pm 0,01bcd$	$1,14 \pm 0,01bcde$	$1,15 \pm 0,01bcde$	$1,15 \pm 0,02bcde$
30	$1,11 \pm 0,03cdef$	$1,15 \pm 0,01bcde$	$1,14 \pm 0,01bcde$	$1,13 \pm 0,02bcde$
40	$1,16 \pm 0,02 abc$	$1,15 \pm 0,02bcde$	$1,15 \pm 0,01bcde$	$1,17 \pm 0,03abc$
50	$1,21 \pm 0,02^a$	$1,18 \pm 0,03ab$	$1,17 \pm 0,02abc$	$1,17 \pm 0,01abc$
60	$1,18 \pm 0,02ab$	$1,18 \pm 0,01ab$	$1,17 \pm 0,01abc$	$1,18 \pm 0,02ab$
70	$1,15 \pm 0,02abcd$	$1,16 \pm 0,01abc$	$1,14 \pm 0,01bcde$	$1,14 \pm 0,02bcde$
80	$1,17 \pm 0,03ab$	$1,48 \pm 0,02abc$	$1,19 \pm 0,01ab$	$1,19 \pm 0,03ab$
90	$1,1 \pm 0,03defg$	$1,16 \pm 0,01abc$	$1,18 \pm 0,01ab$	$1,17 \pm 0,002abc$

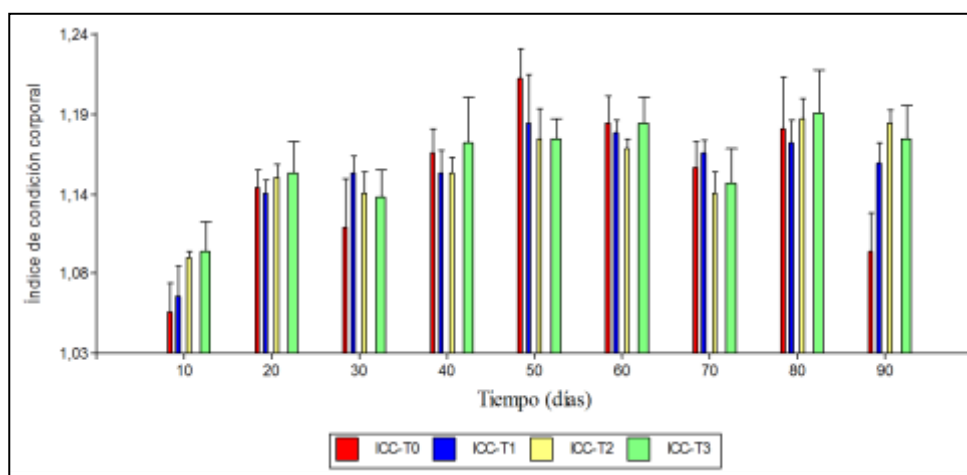
**p=0,3825**

\* *Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la figura 19, se observa el desarrollo del índice de condición corporal durante la fase de investigación para las diferentes dosis de *Arthrospira platensis* incluidas en el alimento balanceado.

Al día 50 se puede observar el mayor promedio de esta variable para todos los tratamientos evaluados. Todos los tratamientos mantuvieron medias similares y dentro del mismo rango a lo largo de la fase de investigación, sin embargo, al día 90 T0 presentó un menor promedio ( $1,1 \pm 0,03$ ) con respecto a los demás.





**Figura 19** Promedio  $\pm$  error estándar del índice de condición corporal a través del tiempo

#### 4.4.3 Tasa de crecimiento específico (%/día)

Los datos obtenidos durante toda la fase de investigación fueron transformados a raíz cuadrada para el cumplimiento de los supuestos de homocedasticidad y normalidad, se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95 %, mediante el cual se comprobó un efecto significativo para la interacción tratamiento y tiempo ( $p=0,0388$ ).

En la tabla 23 se puede observar las medias de la tasa de crecimiento específica en función del peso evaluadas cada 10 días. Durante el día 20 y 30 se presentó el mayor promedio para todos los tratamientos siendo T0 ( $2,15 \pm 0,14$ ) y T3 ( $1,97 \pm 0,03$ ) los que presentaron una tasa de crecimiento específica alta respecto al resto, pero a partir del día 40 los promedios de T0, T1, T2 y T3 descendieron hasta el día 70. Sin embargo, al día 80 hubo un incremento de los promedios para T2 ( $0,94 \pm 0,07$ ) y T3 ( $0,94 \pm 0,14$ ).

Se encontró diferencias significativas entre las medias de los tratamientos al día 20, 40 y 80. Sin embargo a la finalización del estudio (día 90) las medias fueron similares estadísticamente, presentando T2 el mayor promedio con  $0,68 \pm 0,08$  seguido por T0 con 0,6, mientras que T1 y T3 presentaron promedios menores con  $0,45 \pm 0,6$  y  $0,44 \pm 0,003$  respectivamente.

**Tabla 23**

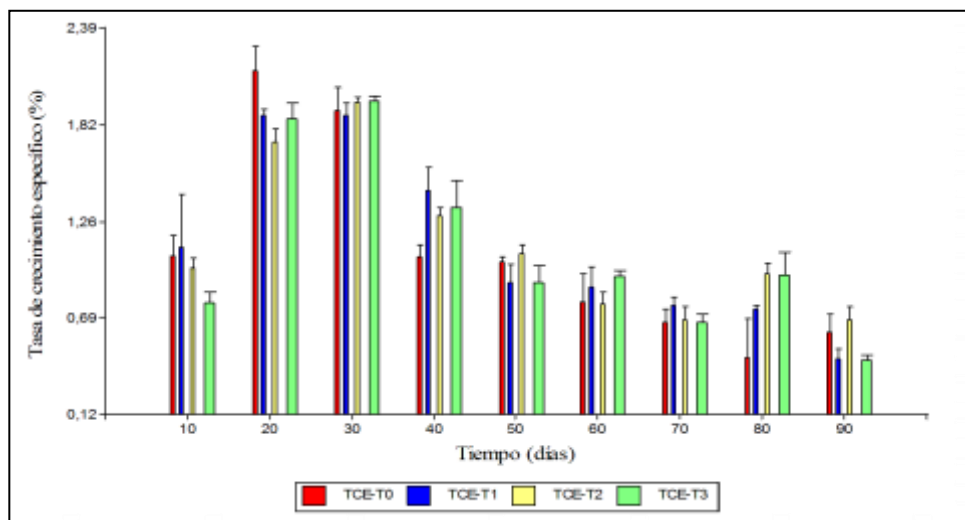
*Promedio  $\pm$  error estándar de la tasa de crecimiento específica bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
10	1,05 $\pm$ 0,12efg	1,1 $\pm$ 0,32efg	0,98 $\pm$ 0,06fgh	0,77 $\pm$ 0,07ghij
20	2,15 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	1,88 $\pm$ 0,04ab	1,72 $\pm$ 0,08bc	1,86 $\pm$ 0,09ab
30	1,91 $\pm$ 0,14ab	1,88 $\pm$ 0,08ab	1,96 $\pm$ 0,03ab	1,97 $\pm$ 0,03 ab
40	1,05 $\pm$ 0,07 efg	1,44 $\pm$ 0,14cd	1,29 $\pm$ 0,05def	1,34 $\pm$ 0,16de
50	1,02 $\pm$ 0,03efgh	0,89 $\pm$ 0,11 ghi	1,07 $\pm$ 0,05efg	0,9 $\pm$ 0,1ghi
60	0,78 $\pm$ 0,17ghij	0,87 $\pm$ 0,12ghi	0,77 $\pm$ 0,08ghij	0,93 $\pm$ 0,04ghi
70	0,66 $\pm$ 0,08hij	0,76 $\pm$ 0,05ghij	0,67 $\pm$ 0,08hij	0,66 $\pm$ 0,05hij
80	0,45 $\pm$ 0,23j	0,74 $\pm$ 0,02ghij	0,94 $\pm$ 0,07fghi	0,94 $\pm$ 0,14fghi
90	0,6 $\pm$ 0,1ij	0,45 $\pm$ 0,61j	0,68 $\pm$ 0,08hij	0,44 $\pm$ 0,003j

**p=0,0388**

*\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la figura 20 se observa el desarrollo de la tasa crecimiento específico para cada uno de los tratamientos durante los 90 días del ensayo. El mayor promedio corresponde al tratamiento control (T0) al día 20 con una tasa de crecimiento de 2,15 $\pm$ 0,14. Mientras que el menor promedio es del T3 (1.5% de *Arthrospira platensis*) con 0,44 $\pm$ 0,003 al día 90.



**Figura 20** Promedio  $\pm$  error estándar de la tasa de crecimiento específico a través del tiempo

#### 4.4.4 Eficiencia alimenticia (E.A)

Los datos obtenidos cada 10 días de la eficiencia alimenticia (%) durante la fase investigativa (90 días) fueron transformados a logaritmo natural y se evaluó con la prueba no paramétrica Fridman. Luego se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%, en el que se determinó que no hubo un efecto significativo para la interacción tratamiento y tiempo ( $p=0,1303$ ). Además, se realizó un análisis estadístico complementario para la E.A por mes, el cual tampoco existió un efecto significativo ( $p=0,9292$ ), ver tabla 25.

No se presentó diferencias significativas en la eficiencia alimenticia entre tratamientos (tabla 24). Sin embargo, se puede observar que al día 20 y 30 las medias para todos los tratamientos fueron mayores. Pero al día 70 los tratamientos T1 (0.5% de *Arthrospira platensis*), T2 (1% de *Arthrospira platensis*) y T3 (1.5% de *Arthrospira platensis*) presentaron medias inferiores respecto al control (T0).

La mejor eficiencia para la inclusión del 1% de *Arthrospira platensis* en el alimento balanceado se presentó al día 30 con  $59,4 \pm 0,96$  pero a la finalización del ensayo (día 90) tuvo una eficiencia de  $29,81 \pm 2,13$  menor a la de T0 (tratamiento control) con  $32,57 \pm 1,57$ .

**Tabla 24**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la eficiencia alimenticia bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis*

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
10	33,3 $\pm$ 3,61hijk	34,6 $\pm$ 9,38fghijk	31,28 $\pm$ 1,69hijk	24,9 $\pm$ 2,04k
20	64,55 $\pm$ 3,92 <sup>a</sup>	57,17 $\pm$ 1,04abcd	52,86 $\pm$ 2,22abcde	56,69 $\pm$ 2,46abcd
30	58,05 $\pm$ 3,78abc	57,21 $\pm$ 2,08abcd	59,4 $\pm$ 0,96ab	59,65 $\pm$ 0,8ab
40	35,76 $\pm$ 4,16fghijk	48,51 $\pm$ 7,56bcdef	43,27 $\pm$ 2,68defgh	48,27 $\pm$ 7,94bcdefg
50	39,34 $\pm$ 0,94efghijk	40,59 $\pm$ 8,96efghij	41,01 $\pm$ 1,96efghij	34,65 $\pm$ 3,69fghijk
60	33,52 $\pm$ 4,41ghijk	38,07 $\pm$ 3,96fghijk	33,7 $\pm$ 1,62fghijk	37,3 $\pm$ 2,41fghijk
70	44,04 $\pm$ 9,98cdefgh	29,59 $\pm$ 1,99hijk	29,45 $\pm$ 0,37hijk	27,25 $\pm$ 1,3ijk
80	24,35 $\pm$ 5,59k	37,51 $\pm$ 8,47fghijk	41,73 $\pm$ 4,65efghi	37,13 $\pm$ 4,36fghijk
90	32,57 $\pm$ 1,57hijk	26,1 $\pm$ 1,16jk	29,81 $\pm$ 2,13hijk	28,15 $\pm$ 4,08ijk

**p=0,1303**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 25**

*Promedio  $\pm$  error estándar de la eficiencia alimenticia por mes*

Mes	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
1	51,96 $\pm$ 5,12 c	49,66 $\pm$ 4,69bc	47,84 $\pm$ 4,33bc	47,08 $\pm$ 5,64abc
2	36,2 $\pm$ 1,96abc	42,39 $\pm$ 3,9abc	39,33 $\pm$ 1,8abc	40,08 $\pm$ 3,35abc
3	33,65 $\pm$ 4,39 <sup>a</sup>	31,07 $\pm$ 3,04a	33,66 $\pm$ 2,5ab	30,84 $\pm$ 2,37a

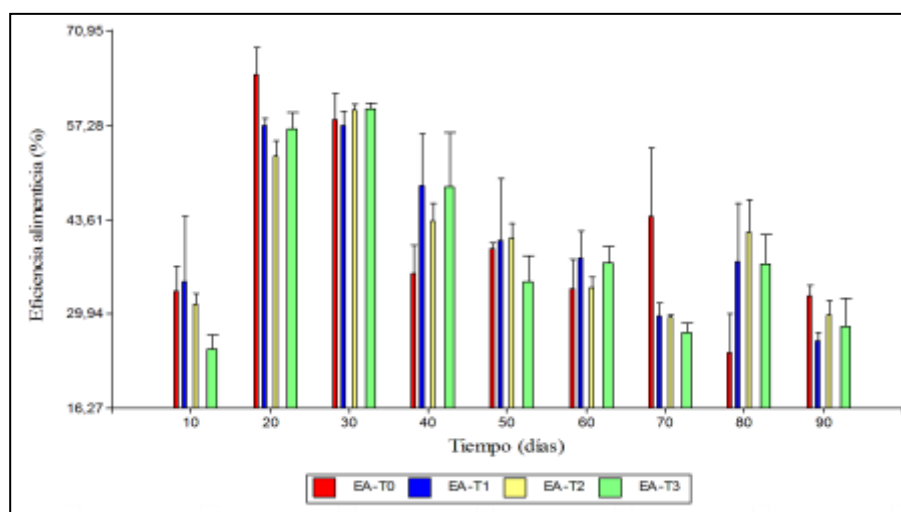
**P= 0,9292**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la figura 21 Se refleja el desarrollo de la eficiencia alimenticia (%) para cada tratamiento a través del tiempo. T0 (tratamiento control) presentó el mayor promedio al día 20 con  $64,55 \pm 3,92$ , pero a partir del día 40 hasta el 60 presentó un descenso en su promedio. Presentando un

promedio menor al día 80 ( $24,35 \pm 5,59$ ), mientras que T2 presentó un promedio ( $41,73 \pm 4,65$ ) superior al resto de tratamientos.

Al día 90, T2 (1% de *Arthrospira platensis*) y T3 (1.5% de *Arthrospira platensis*) presentaron medias similares con  $29,81 \pm 2,13$  y  $28,15 \pm 4,08$  respectivamente, las cuales se encontraban menores a las del tratamiento control (T0), presentando una baja eficiencia alimenticia.



**Figura 21** Promedio  $\pm$  error estándar de la eficiencia alimenticia (%) a través del tiempo

#### 4.4.5 Factor de conversión alimenticia (FCA)

Los datos obtenidos durante la fase de investigación cada 10 días fueron transformados a potencia al cuadrado, cumpliendo los supuestos de homocedasticidad y normalidad, se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%. En el cual no se encontró un efecto significativo para la interacción tratamiento y tiempo ( $p=0,0539$ ), de igual manera se realizó un análisis estadístico complementario para la F.C.A por mes, para el cual no hubo un efecto significativo ( $p=0,8607$ ), ver tabla 27.

En la tabla 26 se observa las medias del factor de conversión alimenticia para cada tratamiento durante los 90 días de duración del experimento. No existieron diferencias significativas entre los tratamientos a la finalización de la investigación (día 90). Al día 80 T0 (tratamiento control) alcanzó un factor de conversión de  $4.51 \pm 0,91$  superior al resto de tratamientos, con una diferencia de 2.05 respecto a T2 ( $2,46 \pm 0,28$ ).

T3 (1.5% de *Arthrospira platensis*) presentó un factor de conversión alimenticia de  $1,68 \pm 0,02$  similar al de T2 (1% de *Arthrospira platensis*) con  $1,69 \pm 0,03$  al día 30. Sin embargo, al día 90 se presentó un déficit en el consumo de alimento siendo T1 (0.5% de *Arthrospira platensis*) y T3 con los mayores promedios  $3,85 \pm 0,17$  y  $3,7 \pm 0,5$  respectivamente. Mientras que T2 fue menor ( $3 \pm 0,26$ ).

**Tabla 26**

*Promedio  $\pm$  error estándar del factor de conversión alimenticia bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis*

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
10	$3,08 \pm 0,35$ bcdef	$3,35 \pm 0,88$ bcdef	$3,21 \pm 0,18$ bcdefg	$4,07 \pm 0,34$ ab
20	$1,56 \pm 0,1$ k	$1,75 \pm 0,03$ ijk	$1,9 \pm 0,08$ hijk	$1,77 \pm 0,08$ ijk
30	$1,74 \pm 0,12$ ijk	$1,75 \pm 0,06$ ijk	$1,69 \pm 0,03$ jk	$1,68 \pm 0,02$ jk
40	$2,87 \pm 0,33$ cdefghi	$2,15 \pm 0,29$ ghijk	$2,33 \pm 0,14$ efghijk	$2,21 \pm 0,43$ fghijk
50	$2,55 \pm 0,06$ defghijk	$2,72 \pm 0,6$ cdefghijk	$2,45 \pm 0,11$ efghijk	$2,96 \pm 0,34$ bcdefgh
60	$3,08 \pm 0,37$ bcdefg	$2,69 \pm 0,31$ cdefghijk	$2,98 \pm 0,15$ bcdefgh	$2,7 \pm 0,18$ cdefghijk
70	$2,56 \pm 0,65$ defghijk	$3,41 \pm 0,24$ bcde	$3,4 \pm 0,04$ bcdef	$3,69 \pm 0,17$ abcd
80	$4,51 \pm 0,91$ <sup>a</sup>	$2,91 \pm 0,54$ bcdefghi	$2,46 \pm 0,28$ efghijk	$2,77 \pm 0,31$ cdefghij
90	$3,08 \pm 0,14$ bcdefg	$3,85 \pm 0,17$ abc	$3 \pm 0,26$ bcdef	$3,7 \pm 0,51$ abcd

**p=0,0539**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 27**

*Promedio  $\pm$  error estándar del factor de conversión alimenticia por mes*

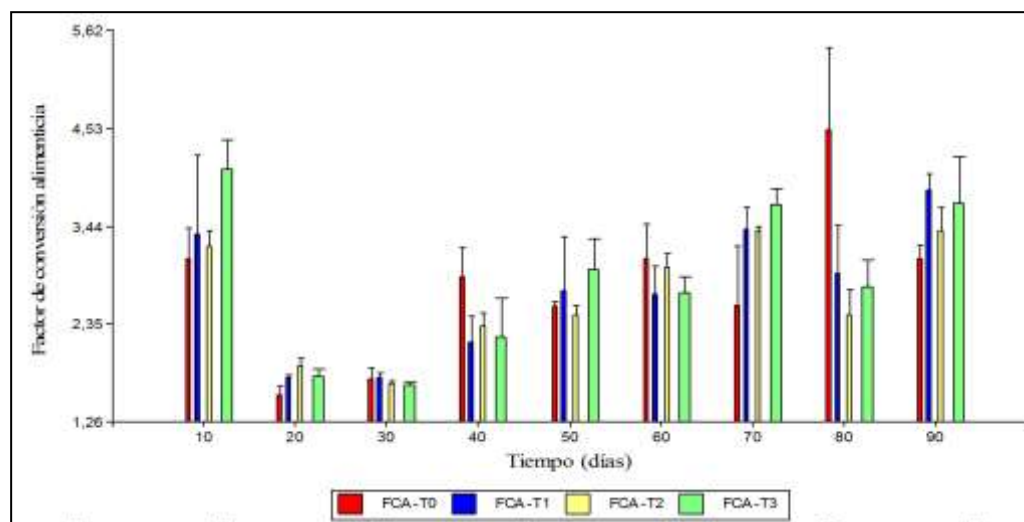
Mes	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
1	2,13 $\pm$ 0,26 a	2,29 $\pm$ 0,37ab	2,27 $\pm$ 0,25abc	2,51 $\pm$ 0,4abc
2	2,83 $\pm$ 0,1cd	2,52 $\pm$ 0,23abcd	2,59 $\pm$ 0,12bcd	2,62 $\pm$ 0,2abcd
3	3,39 $\pm$ 0,44d	3,39 $\pm$ 0,22d	3,08 $\pm$ 0,19d	3,38 $\pm$ 0,24d

**P= 0,8607**

\* *Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la figura 22 se muestra la evolución del factor de conversión alimenticia para cada tratamiento a lo largo de la fase investigativa. Al día 10 las medias fueron mayores para todos los tratamientos, pero al día 20 y 30 se alcanzó los mejores resultados en la eficiencia del alimento consumido por parte de los individuos de trucha arco iris.

T0 (tratamiento control) al día 80 presentó el mayor valor con 4,51 $\pm$ 0,91, mientras que T3 (1.5% *Arthrospira platensis*) al día 70 alcanzó un valor de 3,69 $\pm$ 0,17.



**Figura 22** Promedio  $\pm$  error estándar del factor de conversión alimenticia través del tiempo

#### 4.4.6 Tasa de mortalidad

Al finalizar el estudio se determinó el porcentaje de mortalidad de los peces tratados con diferentes niveles de *Arthrospira platensis*. La tasa de mortalidad fue baja para T1 y T3, mientras que T0 y T2 no presentaron mortalidad (tabla 28).

**Tabla 28**

*Tasa de mortalidad (%) de trucha arco iris bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis*

Tratamiento	% <i>Arthrospira platensis</i> .	# de peces	% mortalidad
T0	0	45	0
T1	0,5	45	2,2
T2	1	45	0
T3	1,5	45	2,2

#### 4.5 Variables hematológicas

##### 4.5.1 Contenido de glucosa en la sangre

Los niveles de glucosa para los tratamientos fueron evaluados cada 30 días durante y a la finalización de la investigación (día 90).

Los datos obtenidos de los niveles de glucosa en la sangre fueron analizados mediante la prueba no paramétrica Kruskal Wallis posteriormente se realizó una comparación de medias Duncan a un nivel de significancia de 0.05.

Se determinó un efecto significativo para la interacción tratamiento y tiempo ( $p=0.0014$ ) tabla 29 se puede observar que todos los tratamientos presentaron niveles de glucosa dentro del rango normal de la especie, sin embargo, T0 (tratamiento control) presentó niveles de glucosa mayor al resto de tratamientos a lo largo de la fase de investigación (90 días). Mientras que T3 (1.5% de



*Arthrospira platensis*) presentó promedios bajos y estables durante el desarrollo de la investigación.

Al día 90 T0 (tratamiento control) presentó la mayor media de glucosa con  $97,24 \pm 3,33$ , mientras que T1 ( $62,92 \pm 8,78$ ), T2 ( $43,64 \pm 5,15$ ) y T3 ( $60,03 \pm 9,29$ ) tuvieron niveles de glucosa menores.

**Tabla 29**

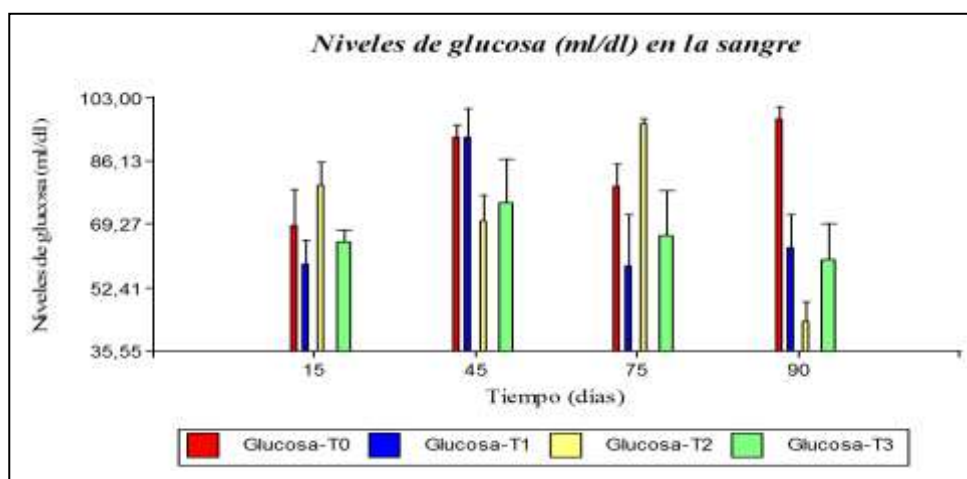
*Promedio  $\pm$  error estándar del contenido de glucosa (mL/dL) en la sangre bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tiempo (Días)	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
15	68,91 $\pm$ 9,56bcd	58,62 $\pm$ 6,48cd	79,68 $\pm$ 6,05abcd	64,54 $\pm$ 3,39cd
45	92,56 $\pm$ 3,14ab	92,57 $\pm$ 7,65abc	70,23 $\pm$ 6,65bc	75,04 $\pm$ 11,55abc
75	79,49 $\pm$ 5,81abc	58,26 $\pm$ 13,7cd	96,14 $\pm$ 1,24a	66,21 $\pm$ 11,84cd
90	97,24 $\pm$ 3,33a	62,92 $\pm$ 8,78cd	43,64 $\pm$ 5,15d	60,03 $\pm$ 9,29cd

**P=0,0004**

\* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la figura 23 se indica los promedios de glucosa en la sangre para cada tratamiento a lo largo de la fase investigativa. Se puede apreciar que al día 75 T2 (1% de *Arthrospira platensis*) presentó una media mayor con  $96,14 \pm 3,94$  sin embargo al día 90 tuvo el menor promedio ( $43,64 \pm 4,79$ ).



**Figura 23** Promedio  $\pm$  error estándar de los niveles de glucosa (mL/dL) a través del tiempo

#### 4.5.2 Hematocrito

Los datos del porcentaje de hematocrito se obtuvieron a la finalización del experimento, cumpliendo con los supuestos de homocedasticidad y normalidad. Se realizó un análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%, en el cual no se encontró diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0.32$ ).

No se encontró diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 30). El porcentaje de hematocrito no es afectado por el uso de *Arthrospira platensis* en las dietas. Sin embargo, T1 (1% de *Arthrospira platensis*) presentó mayor promedio con  $59,17 \pm 4,71$  mientras que T0 (tratamiento control) el menor promedio con  $46,17 \pm 5,60$ .

**Tabla 30**

*Promedio  $\pm$  error estándar del hematocrito (%) bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tratamientos	Hematocrito (%)
T1	$59,17 \pm 4,71a$
T3	$54,83 \pm 5,44a$
T2	$46,17 \pm 7,2a$
T0	$46,17 \pm 5,60a$

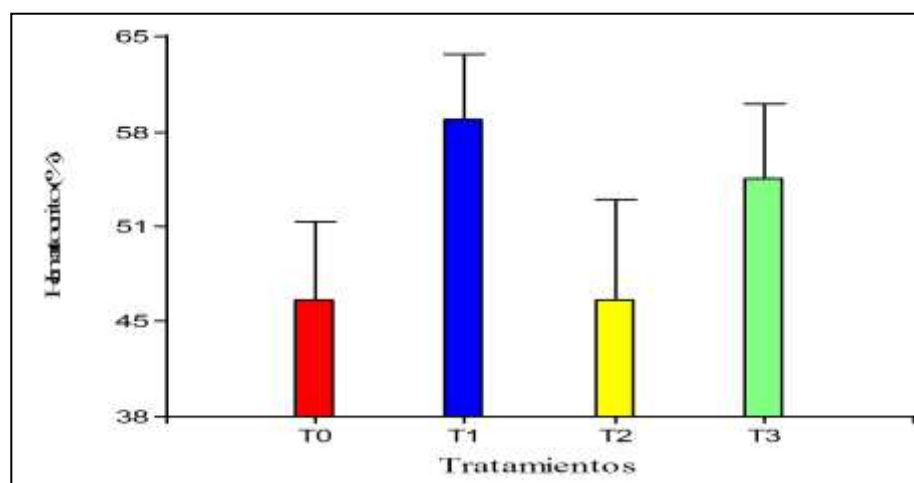
CONTINÚA



$p=0.32$

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En figura 24 se observa el porcentaje de hematocrito para cada tratamiento a la finalización del experimento, los cuales se encontraron dentro de los rangos normales para la especie.



**Figura 24** Promedio  $\pm$  error estándar del porcentaje de hematocrito.

## 4.6 Presencia de Cromo trivalente (Cr III) en músculo, hígado y riñón

### 4.6.1 Contenido de Cr III en músculo

Los datos del contenido de Cromo III se analizaron con estadística descriptiva, debido a que solo T2 presentó contenido de cromo trivalente, en el resto de tratamientos no fue detectable los niveles de Cr III.

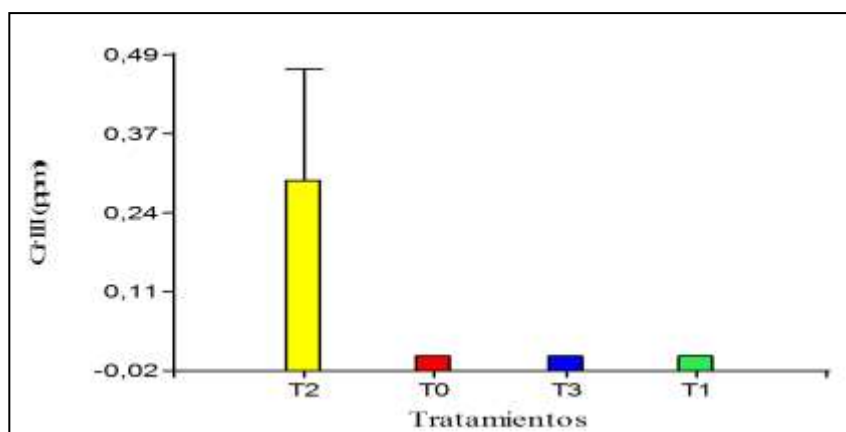
Se determinó presencia de Cr III sólo para T2 (1% de *Arthrospira platensis*), con un promedio de 0,29 ppm (Tabla 31), en el resto de tratamientos evaluados durante el estudio investigativo no fue detectable la presencia de Cr III.

**Tabla 31**

Promedio  $\pm$  error estándar del contenido de Cr III bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis*

Tratamientos	% <i>Arthrospira platensis</i>	Cr III (ppm)
T2	1	0,29 $\pm$ 0,18
T0	0	0 $\pm$ 0
T1	0.5	0 $\pm$ 0
T3	1.5	0 $\pm$ 0

En la figura 25 se observa el promedio del contenido de Cromo trivalente presente en el músculo de la trucha arco iris para cada tratamiento a la terminacion de la fase experimental.



**Figura 25** Contenido de Cromo trivalente en el músculo

#### 4.6.2 Contenido de Cr III en hígado

Los datos obtenidos fueron analizados con la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias Duncan a un nivel de significancia del 0.05.

En la tabla 32 se puede observar el contenido de cromo trivalente en el hígado de la trucha arco iris para cada tratamiento. Se encontró diferencias significativas entre T1 y T3 ( $p=0.04$ ), con la inclusión de 0.5 % de *Arthrospira platensis* en la dieta, el contenido de cromo trivalente en

el hígado fue de  $2,73 \pm 1,74$ , sin embargo, T0 (tratamiento control) tuvo presencia de Cr III con una media de  $0,84 \pm 0,34$ .

### Tabla 32

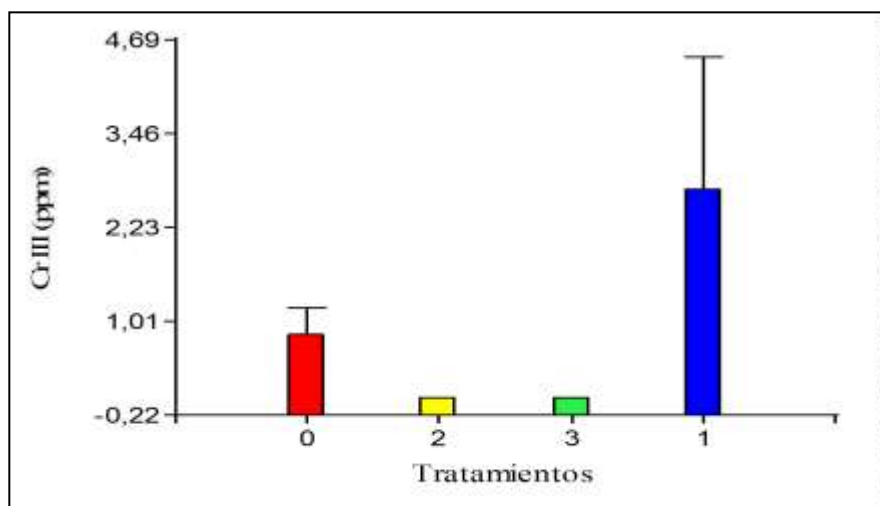
*Promedio  $\pm$  error estándar del contenido de Cr III en el hígado bajo el efecto de cuatro dosis de *Arthrospira platensis**

Tratamientos	% <i>Arthrospira platensis</i>	Cr III (ppm)
1	0.5	$2,73 \pm 1,74a$
0	0	$0,84 \pm 0,34b$
3	1.5	$0 \pm 0$
2	1	$0 \pm 0$

**p=0.04**

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la figura 26 se indica el promedio del contenido de Cromo trivalente presente en el hígado de la trucha arco iris para cada tratamiento a la finalización de la investigación.



**Figura 26** Contenido de Cromo trivalente en hígado

#### 4.6.3 Contenido de Cr III en riñón

Los datos obtenidos a la finalización del experimento se analizaron con la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, posteriormente se hizo una comparación de medias Duncan a un

nivel de significancia del 0.05, en el cuál se determinó que los tratamientos no presentaron diferencias significativas ( $p=0.14$ ).

T3 (1.5% de *Arthrospira platensis*) presentó el mayor promedio de Cr III en el riñón ( $0,75\pm0,39$ ), seguido por T2 (1% de *Arthrospira platensis*) con  $0,44\pm0,35$ , mientras que T1 y T0 no tuvieron presencia de Cr III (tabla 33).

### Tabla 33

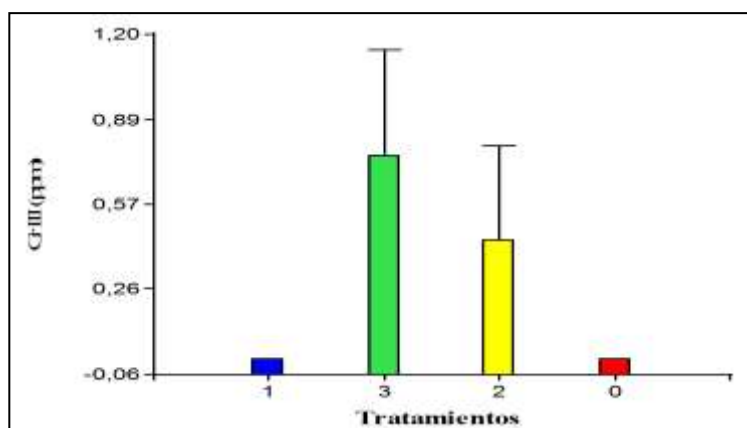
*Promedio  $\pm$  error estándar del contenido de Cr III en riñón bajo el efecto de cuatro dosis de Arthrospira platensis*

Tratamientos	% <i>Arthrospira platensis</i>	Cr III (ppm)
3	1.5	$0,75\pm0,39a$
2	1	$0,44\pm0,35a$
1	0.5	$0\pm0a$
0	0	$0\pm0a$

**$p=0.14$**

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

La figura 27, muestra el promedio del contenido de Cromo trivalente presente en el riñón de la trucha arco iris para cada tratamiento a la finalización de la investigación.



**Figura 27** Contenido de Cromo trivalente en riñón

## 4.7 Discusión

### 4.7.1 Parámetros físico-químicos del agua

El promedio de los parámetros físico-químicos del agua a la finalización del ensayo fueron Temperatura  $14,46 \pm 0,46$  °C, pH  $7,98 \pm 0,39$  y oxígeno  $17,16 \pm 5,74$  mL/L, determinando que las condiciones del agua se encontraban dentro de los requerimientos necesarios de la trucha arco iris en etapa de engorde. Los parámetros ambientales intervienen en la ingesta del alimento y en el crecimiento del individuo reflejándose en la producción trutícola (Aquino, 2009). Según Westers (1995), señala que la temperatura del agua es el principal factor que afecta el crecimiento de los peces debido a que a mayor temperatura existe una mayor ingesta del alimento. El rango óptimo se encuentra entre  $13 - 18$ °C (FAO, 2014), las condiciones de pH alcalino entre  $6.5 - 8.5$  (Ragash, 2009) y una disponibilidad de oxígeno  $>5$  mg/L (Aquino, 2009).

### 4.7.2 Inclusión de *Arthrospira platensis*

Las dosis suministradas de *Arthrospira platensis* en la dieta balanceada para trucha arco iris fueron 0.5%, 1% y 1.5%, con la finalidad de mejorar los parámetros productivos y morfométricos del individuo. Dichas dosis se establecieron de acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación “Valoración de aditivos alimenticios para la estimulación del apetito en trucha arco iris en etapa de engorde” (Molina J. C., 2017), en la cual se adiciono 0.5% a la dieta balanceada, obteniendo una ganancia de peso y una longitud total mayor para los individuos tratados con *Arthrospira platensis* respecto al control. Al incorporar 5% de espirulina a la dieta para alevines de truchas existió mayor crecimiento de los individuos (Pokniak, 2007). Mientras que Díaz & León (2014), obtuvieron mayor ganancia de peso al incorporar el 15% de *Arthrospira platensis* a la dieta de alevines. Espirulina presenta una dosis letal media con una inclusión de 513.48 ppm a la dieta balanceada (Molina J. C., 2017) .

*Arthrospira platensis* es una cianobacteria la cuál es utilizada como suplemento alimenticio en dietas para animales en diferentes etapas, por su alto valor de proteínas, vitaminas, aminoácidos, carotenoides y minerales. En acuicultura se ha utilizado principalmente en cultivos de larvas de moluscos, crustáceos y peces ya que se le atribuye una mejora en las condiciones sanitarias, inmune y fisiológica de los organismos que la consumen (Rincón, y otros, 2012). Sin embargo, diversas investigaciones señalan los beneficios de *Arthrospira platensis* al ser utilizada como biomasa alimenticia en etapas posteriores al ciclo larvario. Según Córdova et al, (2015), el aporte de proteína de alta calidad, aminoácidos esenciales, lípidos y carbohidratos en la dieta por parte de espirulina genera beneficios nutricionales directos (crecimiento, reproducción, etc.) además mejora el estado fisiológico e inmune del individuo debido al aporte de compuestos fenólicos, antioxidantes e inmunoestimulantes.

El contenido de cromo trivalente presente en *Arthrospira platensis* durante la investigación fue de 2.48 ppm, el cual se encuentra dentro de los rangos establecidos. *Arthrospira platensis* presenta en su composición bioquímica 0.28 mg de Cromo trivalente por cada 100 g de biomasa (Ramírez & Olevera, 2006).

#### **4.7.3 Parámetros morfométricos**

En el estudio se determinó que la inclusión de *Arthrospira platensis* en la dieta balanceada para trucha arco iris intervino positivamente en los parámetros morfométricos con respecto al tratamiento control. A la finalización del ensayo (día 90) el peso corporal (g) para los individuos tratados con T2 (1%) fue el mayor con  $223,6 \pm 2,57$ , seguido por T1 (0.5%) con  $216,47 \pm 5,64$ . Sin embargo T3 (1.5%) presentó un peso menor ( $209,6 \pm 2,68$ ) similar al del Tratamiento control ( $210,91 \pm 3,61$ ). En cuanto a la longitud total y parcial (cm) no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ( $p > 0.05$ ), sin embargo, existió diferencias para la



variable ancho (cm), presentando un mejor desarrollo los individuos de *Oncorhynchus mykiss* tratados con las dietas balanceadas que contenían espirulina, el T2 (1%) presentó el mayor promedio con  $6,39 \pm 0,05$  seguido por T1 (0.5%) y T3 (1.5%) respectivamente respecto a T0. Molina (2017) al incorporar 0.5% de espirulina en etapa de engorde, obtuvo un peso corporal y ancho de los individuos superior al tratamiento control ( $p < 0.05$ ) al resto de aditivos utilizados (betaína 0.05% y buclizina 0.002%). Díaz & León (2014), obtuvieron mayor ganancia de peso y longitud al incorporar el 15 % de *Arthrospira platensis* en dieta de alevines de *Oncorhynchus mykiss* respecto al control. Ahmadzade & Nazer (2011), obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) entre los tratamientos con inclusión de espirulina, respecto del control, señalando que *Arthrospira platensis* puede ser utilizada como fuente de proteína debido a la mejora en la tasa de crecimiento (10%), en alevines de trucha arco iris.

La presencia de minerales en la composición bioquímica de espirulina beneficia al desarrollo del individuo. La incorporación de 100 a 200 ppb de cromo trivalente a la dieta mejora la digestibilidad de los nutrientes (Kornegay, Wang, Wood, & Lindemann, 1997), además de estar relacionado con cambios del metabolismo de lípidos y carbohidratos (Bolaños & Bautista, 2009). No se encontró estudios realizados en peces en los cuales se determine la eficiencia del cromo trivalente, sin embargo, existe investigaciones realizadas en otras especies. Chavez (2010), obtuvo una mayor ganancia de peso al incorporar 0.2kg por tn de Bio cromo a la dieta de cerdos en etapa de engorde. Hay que destacar que la adición de Cromo L-metionina (0, 300 y 600 ppb), no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en ganancia de peso de cerdas en producción, peso a la pubertad y peso de la camada (García, Gutiérrez, Mellado, & Morones, 2004).

#### 4.7.4 Parámetros productivos

En los resultados de las variables productivas evaluadas, se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ) para ganancia de peso y tasa de crecimiento específico. Teniendo mayor rendimiento de estas variables, al incorporar 1% *Arthrospira platensis* a la dieta. Cevallos (2006), al incorporar 25% de espirulina a la dieta de post larvas de camarón blanco, mejoró el índice de desarrollo (3.96), respecto al resto de tratamientos, el cuál fue dependiente al nivel de inclusión de espirulina. Mientras (Parra, y otros, 2017), al incluir espirulina como fuente de carotenoides para gallinas ponedoras, obtuvieron resultados positivos dentro de los parámetros productivos como: condición corporal, calidad y peso del huevo, mejorando significativamente la calidad nutricional y funcional del huevo.

Por lo contrario, no se presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos, para el resto de variables productivas (F.C.A; I.C.C; E.A) evaluadas. El estudio efectuado por Molina (2017) no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre variables productivas evaluadas (E.A; G.P; IC.C y F.C.A), al incorporar espirulina al pienso de truchas en etapa de engorde. De igual manera Pokniak (2007), no obtuvo diferencias significativas en la conversión alimenticia y en la tasa de crecimiento específico al reemplazar harina de pescado por *Arthrospira platensis* con una inclusión del 15%, en dieta para alevines de *Oncorhynchus mykiss*. Estos resultados difieren con el estudio realizado por Abdulrahman (2014), donde la inclusión de *Arthrospira platensis* optimizó los factores productivos evaluados (E. A, F.CA, G.P) en tilapia.

La adición de cromo a partir de metionina a la dieta de cerdas, no mejoró el consumo del alimento ni la conversión alimenticia (Güémez, y otros, 2011). Coincidiendo con Lindemann et al. (2008), quienes observaron que al adicionar cromo a partir de levadura enriquecida con 5000 ppb, no se modificó el desempeño productivo de los cerdos.

La tasa de crecimiento específico y la ganancia de peso a la finalización del estudio fue mayor para T2 (1% de *Arthrospira platensis*). Esto se encuentra relacionado directamente con el peso corporal del individuo en un determinado tiempo (Jover, 2000), reflejándose en los resultados obtenidos. A medida que los peces aumentan de peso la tasa de crecimiento específico (TCE) disminuye debido a que existe un incremento en el gasto de mantención (Guillaume, Kaushik, Bergot, & Métailler, 2001). Mientras que el índice de condición corporal permite obtener información sobre el crecimiento, estado nutricional y reproductivo del individuo (Samy, y otros, 2015), durante el estudio los promedios del índice corporal se mantuvieron normales para todos los tratamiento.

Durante los 90 días del ensayo, la eficiencia alimenticia fue menor a los rangos establecidos por Kaushik & Medale (1994), los cuales señalan que se debe de encontrar entre 60 – 80% para salmónidos. Los resultados obtenidos coinciden con los de (Rincón, y otros, 2012), los cuales sustituyeron harina de pescado por espirulina en la alimentación tilapia roja, donde la eficiencia alimenticia fue menor al 50% para todos los tratamientos. Cuando la tasa de crecimiento es baja y el factor de conversión alimenticia (FCA) es elevado la eficiencia alimenticia va ser menor, por lo que no se puede llegar a un óptimo biológico (Morales, 2004), en el estudio realizado se mantuvo un factor de conversión alimenticia alto para todos los tratamiento, solo en los días 30 y 40 fue menor.

#### **4.7.5 Variables hematológicas**

Durante el estudio se determinó diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) en los niveles de glucosa en la sangre, los individuos de *Oncorhynchus mykiss* tratados con *Arthrospira platensis* presentaron menores niveles de glucosa en comparación del tratamiento control. El

estudio realizado por Molina (2017), no se encontró diferencias en los niveles de glucosa al incluir 0.5% de *Espirulina* a la dieta.

Manera & Britti (2006), señala que el contenido de glucosa sanguínea debe encontrarse menor a 239.29 mg/dL para un óptimo desempeño, Rojas (2005), indica que cuando el contenido de proteína vegetal es alto en el alimento, los valores están desde 87,9 hasta 110,4 mg/dl. Según Moon (2001), los peces son considerados intolerantes a la glucosa debido a su incapacidad para reducir rápidamente los niveles de glucosa tras una ingesta de alimento con alto contenido de carbohidratos, influyendo en los parámetros productivos, se determinó que la hiperglucemia inducida en trucha arco iris disminuyó la ingesta del alimento (Aguilar, 2012).

Los tratamientos T1 y T2, presentaron niveles bajos de glucosa en comparación del control. Los niveles de glucosa en el sistema circulatorio es un indicador fisiológico de varios sistemas funcionales como el digestivo e inmunológico. En especial el sistema inmune tiene relación al grado de estrés en peces en donde la glucosa y cortisol están directamente relacionados (Huanca & Carpio, 2017). Al evaluar los niveles de cortisol y glucosa como indicadores de estrés en trucha arco iris, se determinó que al anestésarlos y no incorporar oxigenación presentan niveles de cortisol y glucosa elevados (Conde, y otros, 2009).

Al incluir 1.5% de *Arthrospira platensis* al alimento balanceado se obtuvo niveles bajos de glucosa durante toda la fase experimental. A esto se le atribuye una mayor presencia de cromo trivalente en la dieta, debido a que tiene acciones en el metabolismo de la glucosa y carbohidratos (Guevara, 2010), potenciando la acción de la insulina al incrementar la unión insulina-receptores celulares (Ibarra, 2009). Esta unión permite la entrada del cromo existente en la sangre a las células dependientes de insulina donde se unirá a los receptores de insulina, mejorando la síntesis y la utilización inmediata de glucosa (Gómez & Magaña, 2003).

El cromo trivalente es esencial dentro de la nutrición animal dada su función en el metabolismo de la insulina, como factor de tolerancia a la glucosa (FTG) (Ibarra, 2009). El FTG es una molécula organometálica, que facilita la unión de la insulina a los receptores celulares, con la penetración de la glucosa al interior de células (tejido hepático, muscular, adiposo), sin la presencia del cromo esta función se inactiva (Chica, Restrepo, & Cárdenas, 2010). Además ayuda al organismo a utilizar o almacenar la glucosa sanguínea que obtienen de los alimentos (Ibarra, 2009). Favoreciendo la síntesis de proteína, y por ende, una reducción en la producción de tejido adiposo (Gámez *et al.*, 2002), mejorando el metabolismo de carbohidratos, lípidos y aminoácidos (Roa, Ram, & Neto, 2010).

Según Ibarra (2009), la implementación de cromo en dietas para animales (ratones) con diabetes mellitus en laboratorio, disminuyó el nivel de glucosa en la sangre y mejoró la digestibilidad de carbohidratos ingeridos a través del alimento, ya que reactiva la actividad de insulina en el organismo de los animales tratados con diferentes fuentes de cromo vegetal (*Eriobotrya japonica* y *Tecoma stans*).

En cuanto al contenido de hematocrito, no se reportó diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ), dichos valores se encontraron entre el 40 y 60 %, los cuales están dentro de los parámetros normales para trucha arco iris Buenaño (2010) señaló que el valor normal es 44.77% en individuos juveniles. El porcentaje de hematocrito son indicadores de las condiciones fisiológicas y de las situaciones de estrés a las que se encuentran sometidas los peces, debido a que son indicadores inmediatos de perturbaciones ambientales o fisiológicas (Alaye & Morales, 2010), y tipo de alimentación suministrada (Boyaca & Azula, 2008).

#### 4.7.6 Contenido de Cr III en músculo, hígado y riñón

El contenido de cromo trivalente presente en el músculo de la trucha arco iris fue detectado sólo para el tratamiento T2 (1% de *Arthrospira platensis*) con 0,29 ppm, mientras que en el hígado T1 (0.5% de *Arthrospira platensis*) presentó mayor contenido (2,73 ppm) en comparación con tratamiento control (0,84 ppm), en cuanto a los análisis realizados en el riñón solo se determinó presencia de Cr III en T3 (1.5% de *Arthrospira platensis*) y T2. El equipo de espectrofotometría no detectó la presencia de cromo trivalente en el resto de muestras de los tratamientos. A esto se le atribuye la sensibilidad del equipo para detectar presencia de Cr III menores a 0.1 mg/L en muestras. Orozco & Toro (2007), al determinar la toxicidad de cromo y cobre en sistemas acuáticos, mediante el equipo de espectrofotometría de absorción atómica no determinó presencia de estos elementos menores a 0.25 mg/L. La sensibilidad analítica y de calibración para determinar Cr III es mucho menor que la del Cr VI, por lo que se dificulta determinar de forma directa concentraciones menores (Rodríguez, Reátegui, & Gómez, 2002).

Estudios mostraron que el contenido de cromo trivalente en peces está relacionado con el peso corporal del animal (Flos, Riva, & Balasch, 1999) además del tipo de alimentación. Espinosa (2016), señala que el cromo trivalente no puede fijarse bien en los tejidos renales, esto se debe al proceso metabólico de osmo-regulación y excreción que cumple el riñón en peces.

El hígado y el páncreas cumple con funciones, metabolizando todas las sustancias que llegan por vía sanguínea, por ende la presencia de cromo está regulada por el proceso de desintoxicación y homeostasis que cumple en los peces (Torres, 2010). Además que el cromo trivalente es solo utilizado una vez para luego ser expulsado por la orina, por ende el contenido que se dirige al músculo es menor y su fijación en él, es escasa (Gúzman, 2000).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La inclusión del 0.5% y 1% de *Arthrospira platensis* en el alimento balanceado, mejoró los parámetros morfométricos y productivos (ganancia de peso y tasa de crecimiento específico) de *Oncorhynchus mykiss*, respecto al control.
- Debido a una mejor utilización de proteínas y carbohidratos el tratamiento T2 (1% de *Arthrospira platensis*), fue el mejor incrementando el peso corporal ( $223,6 \pm 2,57$ g), ancho ( $6,39 \pm 0,05$ cm), longitud total ( $26.81 \pm 0.14$ cm), ganancia de peso ( $1,46 \pm 0,16$ ) y tasa de crecimiento específico ( $0,68 \pm 0,08$ ) respecto al tratamiento control.
- En la etapa de engorde los individuos de *Oncorhynchus mykiss*, tratados con diferentes porcentajes de *Arthrospira platensis*, mantuvieron bajos niveles de glucosa en la sangre en comparación a los del tratamiento control (97,24 mL/dL).
- Al finalizar el experimento, en el tratamiento T2 se determinó presencia de cromo III en músculo ( $0,29 \pm 0,18$  ppm) e hígado ( $0.44 \pm 0.35$ ppm) mientras que en riñón el equipo de espectrofotometría de absorción atómica por flama no determino Cr III.
- La presencia de Cromo III en el organismo, mantiene los niveles de glucosa adecuados en la sangre, lo que favorece la mejor metabolización de nutrientes y se traduce en ganancia en peso.

#### 5.2 Recomendaciones

- Evaluar la eficiencia de *Arthrospira platensis*, en diferentes etapas fisiológicas de trucha arco iris.
- Realizar un estudio comparativo con productos comerciales que contengan Cr III, para verificar la eficiencia del Cr III presente en *Arthrospira platensis*.

- Ejecutar un estudio sobre adición de cromo III en dietas vegetales para la alimentación de trucha arco iris y su relación con los niveles de glucosa, cortisol e insulina en la sangre.
- Evaluar diferentes técnicas de digestión de muestras para la determinación de cromo III, y comparar la sensibilidad de la técnica y equipo al momento de la lectura de las mismas.
- Analizar la presencia de cromo trivalente mediante espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito, para mayor sensibilidad en las lecturas de las muestras.



### 5.3 Bibliografía

- Aeasar, A. (2015). *Fichas de datos de seguridad Betaine anhydrous*.
- Aguilar, A. (2012). *Efecto del tratamiento con leptina sobre la actividad del sistema glucosensor y la expresión de neuropéptidos implicados en la regulación de la ingesta de alimento en trucha arcoíris (Onchorhynchus mykiss)*. Nicaragua: ResearchGATE.
- Alaye, N., & Morales, J. (2010). *Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en el sistema cerrado de recirculación para acuicultura del Chirostoma estor*. INAPESCA.
- Alaye, N., & Morales, J. (2013). *Parámetros hematológicos y células sanguíneas de organismos juveniles del pescado blanco (Chirostoma estor estor) cultivados en Pátzcuaro, Michoacán, México*. México: Centro Regional de Investigación Pesquera-Pátzcuaro.
- Allan, G., Parkinson, S., Booth, M., Stone, D., Rowland, S., Frances, J., & Warner, R. (2000). *Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, Bidyanus bidyanus: I. Digestibility of alternative ingredients*. Aquaculture.
- Amata, A. (2013). *Chromium In Livestock Nutrition : A Review*.
- Anderson, R. (1998). *Chromium, glucose intolerance and diabetes*. J Am Coll Nutr.
- Aquino, G. (2009). *MANUAL BÁSICO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS (Oncorhynchus mykiss)*.
- Bautista, H. (2007). *Elaboración de una nueva dieta con la inclusión de sangre bovina deshidratada, como fuente de hierro y como equilibrador del perfil aminoácido para alevines de trucha arco iris (Oncorhynchus mikiss)*. Escuela Politecnica del Ejercito ESPE.
- Blanco, C. (1995). *La Trucha, cría industrial*. España: Mundi-Prensa.
- Bolaños, A., & Bautista, M. (2009). *Síntesis y caracterización del complejo de inclusión de cromo con fenilalanina en  $\beta$ - ciclodextrina [ $\beta$ -CD(d-Cr(phe)3)]*. Colombia: Universidad Autónoma de Occidente.
- Boyaca, M., & Azula, G. (2008). *Estandarización de valores hematológicos de trucha arco iris en condiciones de altitud*. Research.
- Buenaño, M. (2010). *Hemograma de trucha arco iris en tres etapas de producción en la cuenca alta de la provincia de Napo, Ecuador*.

- Calderón, C. (2010). *Evaluación de la digestibilidad y desempeño en salmón del atlántico salmo salar (linnaeus, 1758), utilizando dietas con diferentes niveles de proteína*. Puerto Montt: Universidad Austral de Chile.
- Ceballos, J. (2006). *Evaluación de la harina de Spirulina Platensis como alimento y aditivo para la producción de Postlarvas de camrón blanco*. La Paz.
- Centeno, A. (2013). *Producción de microalgas Spirulina (Arthrospira) en cultivo semicontinuo en diferentes concentraciones de nutrientes*.
- Centeno, A. (2013). *Producción de microalgas Spirulina (Arthrospira) en cultivo semicontinuo en diferentes concentraciones de nutrientes*. Universidad Rio Grande.
- Chamorro, G., Salazar, M., Gomez, K., Pereira dos Santos, G., & Castillo, L. (2002). *Actualización en la farmacología de Spirulina (Arthrospira), un alimento no convencional*. Caracas.
- Chavez, A. (2010). *Efecto de la suplementación en la dieta cromo sobre la productividad general y características de la canal en cerdo durante la etapa de engorde*. Torreon: Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.
- Chica, J., Restrepo, M., & Cárdenas, C. (2010). *Determinación del efecto y nivel de suplementación de Cromo sobre los parámetros productivos y económicos de pollos de engorde*. INCAS CES.
- Conde, M., López, M., Muñoz, J., Aguilar, A., Soengas, J., & Míguez, J. (2009). Efecto del anestésico MS - 222 en parámetros sanguíneos indicadores de estrés en trucha "arco iris" (*Oncorhynchus mykiss*) y su atenuación mediante oxigenación intensa del medio. En *Libro de resúmenes. XII Congreso Nacional de Acuicultura* (págs. 538, 539). Madrid : Departamento de Biología Funcional Universidad de Vigo.
- Cornet, J., Dussap, C., & Dubertret, G. (1992). *A Structured Model for Simulation of Cultures of the Cyanobacterium Spirulina platensis in photobioreactors*.
- Cowey. (1999). *UTILIZACION DE AMINOACIDOS EN PECES*. Department of Zoology, University of Aberdeen.
- Cruz, E., Ricque, D., Tapia, M., Nieto, M., Villarreal, D., Gamboa, J., . . . Baeza, M. (2015). *NUTRICIÓN ACUICOLA: INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO*. En L. Martínez, M. Martínez, A. López, D. Medina, & D. Fimbres, *Uso de Microalgas como Complemento*

*Alimenticio de Especies Acuícolas: Efectos en la Condición Fisiológica, Sanitaria e Inmune* (págs. 62-82). Monterrey: Nutrición Acuícola: Investigación y Desarrollo, Universidad Autónoma de Nuevo León.

De la Oliva, G. (2011). *Manual de buenas prácticas del cultivo de trucha arco iris*.

Diaz, J., & Leon, J. (2014). *Utilización de espirulina (spirulina maxima) en la alimentación de alevinos de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*. Bogota: UNIVERSIDAD DE LA SALLE: FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.

EFSA. (2010). *Composición nutricional de la carne de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*.

Espada, J. (2016). *Espirulina*. Universidad Rey Juan Carlos.

España, J. (2003). *Estanques de Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) para tratamiento de residuos industriales*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Espinosa, E. (2016). *Citotoxicidad por cromo en encéfalo, médula espinal, tubo digestivo, riñón e hígado de betta splendens según concentración determinada en la cuenca baja del río tunjuelo (sector curtiembres), bogotá d.c., colombia*. bogota: universidad distrital francisco José de caldas.

ESPOL. (2018). *Industria de Acuicultura*. ESPAE.

Falquet, J. (2000). *The nutritional aspects of spirulina*. ANTENNA Technologies.

FAO. (2000). *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación*. Brazil. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB492S/AB492S00.htm>

FAO. (2005). *Programa de información de especies acuáticas*.

FAO. (2009). Obtenido de *Oncorhynchus mykiss*:

[http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es\\_rainbowtrout.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es_rainbowtrout.htm)

FAO. (2014). *Manual práctico para el cultivo de la trucha arco iris*. Guatemala.

FAO. (2014). *MANUAL PRÁCTICO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS*. Guatemal.

FAO. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma.

FAO. (2018). Obtenido de *Salmón del Atlántico - Requerimientos nutricionales*:

<http://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/atlantic-salmon/requerimientos-nutricionales/es/>

- Flos, Riva, M., & Balasch, J. (1999). *Influencia del peso corporal sobre la acumulación de cromo y potasio en carpines dorados (Carassius auratus)*.
- Fortich, J. (2015). *Fisiología de la secreción de insulina y glucagón*. Cartagena.
- Galindo, J., García, H., Villareal, & Fenucci, J. (2007). *Manual de ingredientes proteicos y aditivos empleados en la formulación de alimentos balanceados para camarones peneidos*. Universitaria de Mar del Plata.
- Gàmez, A., Sáenz, R., & Morales, E. (2002). Obtenido de El cromo como elemento esencial en los humanos: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-29482002000100006](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-29482002000100006)
- García, F., Gutiérrez, H., Mellado, M., & Morones, R. (2004). *Cromo L-metionina en Dietas Basadas en Sorgo y Soya en Cerdas Primerizas*. Universidad Autónoma de Nuevo León: Facultad de Agronomía.
- Godoy, M. (1999). *Truchicultura*. Perú.
- Gómez, A., & Magaña, P. (2003). *Papel del cromo y del cinc en el metabolismo de la insulina*. México.
- Gonzales, M., & Martínez, E. (2001). *Las Insulinas*. México: Centro Universitario de Ciencias de la Salud.
- GoogleMaps. (2018). Recuperado el Septiembre de 2018, de <https://www.google.com/maps/search/iasa+/@-0.3845727,-78.4175341,891m/data=!3m1!1e3>
- Guayasamín, M. (2016). *El Comercio*. Obtenido de TRUCHA: PEZ 'ALIENÍGENA' PELIGROSO: <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/planeta-10-4-2016/trucha--pez-alienigena-peligroso>
- Güémez, H., Romo, J., Romo, J., Ramos, H., Uriarte, J., Félix, S., . . . Gaxiola, S. (2011). (*Effect of the chromium supplementation at the diet on productive performance and carcass characteristics of the pig in growing-finishing*). REDVET.
- Guevara, S. (2010). *Biorremoción de cromo (cromo total y cromo vi) en agua sintética por dos inóculos bacterianos nativos compuestos, a escala de laboratorio*. sangolquí: Escuela Politecnica del Ejercito.

- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., & Métailler, R. (2001). *Nutrition and Feeding of fish and crustaceans*. Chichester: Praxis Publishing Ltd.
- Gúzman, M. (2000). *Importance of chromium nutrition in dairy cattle. a review*.
- Habib, M., & Parvin, M. (2008). *A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish*. Roma: FAO.
- Hemre, G., Mommsen, T., & Krogdahl, A. (2002). *Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes*. *Aquaculture Nutrition*.
- Hernandez, A., & Labbè, J. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. *Biología Marina y Oceanografía*.
- Herrán, J., Peña, H., Latorre, S., & Calderón, C. (2011). *Características de las canales y parámetros sanguíneos de pollos suplementados con cromo y su desempeño productivo*. Bogota.
- Huanca, U., & Carpio, B. (2017). *LEVELS OF CORTISOL AND GLUCOSE AS INDICATORS OF STRESS IN RAINBOW TROUT (Oncorhynchus mykiss), USING ANESTHETICS IN THE LAGOON OF ARAPA*. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.
- Huarachi, R., Yapo, U., Dueñas, A., & Gonzales, R. (2014). *Adaptabilidad de Spirulina (Arthrospira platensis) en fotobioreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales*.
- Ibarra, J. (2009). *EFECTO HIPOGLUCEMIANTE DE Tecoma stans Y Eriobotrya japonica Y SU RELACIÓN CON LA PRESENCIA DEL CROMO COMO FACTOR DE TOLERANCIA A LA GLUCOSA*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.
- ICA. (2009). *TOMA, CONSERVACIÓN Y ENVÍO DE MUESTRAS PECUARIAS Y AGRÍCOLAS AL CENTRO DE DIAGNÓSTICO*. Instituto Colombiano Agropecuario ICA.
- INEN. (2013). *Determinación de minerales en alimentos*.
- Jiménez, R., & Guerra, M. (2011). *Optimization of the procedure of calculating the fattening food in ponds for the cultivation efficiency of white shrimp Litopenaeus vannamei in Cuba*. Habana: REDVET.
- Jover, M. (2000). *Retrieved from Estimulación de crecimiento, tasa de alimentación y desechos en piscicultura*. AcuaTIC.
- Kornegay, E. T., Wang, Z., Wood, C. M., & Lindemann, M. D. (1997). J.AMIN.

- Lopez, E., Lopez, E., & Lopez, L. (2016). *El efecto del cromo en el síndrome metabólico*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE.
- MAGAP. (2013). *Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*.
- Maiz, R., Valero, L., & Briceño, D. (2010). *Elementos prácticos para la cría de truchas en Venezuela*. Venezuela.
- Manera, M., & Britti, D. (2006). *Assessment of blood chemistry normal ranges in rainbow trout*. Journal of Fish Biology.
- Margarites. (2016).
- Meixner, K., Fritz, I., & Daffert, K. (2016). *Processing recommendations for using low - solids digestate as nutrient solution for poly -B hydroxybutyrate production with Synechocystis salina*. Journal of Biotechnology.
- Mezzomo, N., Saggiorato, A., Siebert, R., Oliveira, P., Hemkemeie, M., Lago, M., & Colla, L. (2010). *Cultivation of microalga Spirulina platensis (Arthrospiraplatensis) from biological treatment of swine wastewater*. Ciencia y tecnología de alimentos.
- Molina, C. (2004). *Producción y comercialización de trucha arco iris para exportación*. Universidad San Francisco de Quito.
- Molina, J. C. (2017). *Valoración de aditivos alimenticios para la estimulación del apetito en trucha arco iris en etapa de engorde*. Sangolquí.
- Monroy, R., Flores, G., Viveros, P., & Ortiz, Y. (2010). *Semiología de la citometría hemática*. Recuperado el 2018, de UNAM: <http://www.ejournal.unam.mx/rfm/no53-4/RFM053000405.pdf>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: LIMUSA, S.A.
- Moon, T. (2001). *Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction?* Biochem. Physiol.
- Morales, G. (2004). *Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arco iris en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires: Facultad de agronomía .
- Muñoz, D. (2008). *Inducción de triploidía mediante la estandarización del choque térmico en trucha arco iris (Oncorhynchus Mykiss) en el Centro de Investigaciones Acuicolas*

- CENIAC, Provincia de Napo, cantón Quijos, parroquia Papallacta. ESPE, Facultad de Ingeniería en Biotecnología.
- Nature's, S. (2017). *Suplementos de Cromo*. Obtenido de Product information only applies to the U.S.: <https://www.naturessunshine.com/us/shop/c2/chromium/?language=es>
- Olivares, A., & Arellano, A. (2008). *Bases moleculares de las acciones de la insulina*. México: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
- Ortíz, J. (2015). Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). En *Acuicultura, Producción dulce acuícola en el Ecuador I* (pág. 29).
- Palacios, R., & Ortega, A. (1993). Nutrición de peces comerciales en estanques.
- Parra, J., Torres, A., Rojas, D., Durazzi, E., Ineichen, E., & Gómez, R. (2017). *Inclusión de la cianobacteria *Arthrospira maxima* como fuente de carotenoides en la dieta de gallinas ponedoras y su evaluación sobre la calidad del huevo*. Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal.
- Pokniak, J. (2007). *INCORPORATION OF SPIRULINA (*Spirulina maxima*) IN DIETS FOR RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) FRY*. Chile: Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias.
- Quimbiamba, F. (2009). *Crecimiento y eficiencia alimentaria de truchas "Arco Iris" (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa de crecimiento, con sustitución parcial de alimento balanceado por sangre de bovinos, Cayambe - Ecuador 2008*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ragash. (2009). *Manual de crianza Trucha (*Oncorhynchus mykiss*)*. Lima.
- Ramírez, L., & Olevera, R. (2006). *USO TRADICIONAL Y ACTUAL DE *Spirulina sp.* (*Arthrospira sp.*)*. Caracas: Interciencia.
- Rincón, D., Velásquez, H., Dávila, M., Semprun, A., Morales, E., & Hernández, J. (2012). *Substitution levels of fish meal by *Arthrospira (=Spirulina) maxima* meal in experimental diets for red tilapia fingerlings (*Oreochromis sp.*)*. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.
- Roa, L., Ram, S., & Neto, M. (2010). Obtenido de Suplementação dietética com cromo trivalente em equinos: revisão de literatura: <http://revistas.bvs-vet.org.br/avb/article/download/7448/7680>

- Rodríguez, C., Reátegui, S., & Gómez, H. (2002). *Estudio de la sensibilidad espectrofotométrica del Cromo (III) y del cromo (VI)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rojas, C. (2005). *Efecto de la dieta sobre los niveles plasmáticos de insulina y glucagón en trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) Y dorada (sparus aurata) y caracterización del transportador de glucosa de dorada*. España: Universidad de Barcelona.
- Rojas, P. (2005). *Efecto de la dieta sobre los niveles plasmáticos de insulina y glucagón en trucha "arco iris" (Oncorhynchus mykiss) y "dorada" (Sparus aurata) y caracterización del transportador de glucosa de dorada*. Barcelona : Universidad de Barcelona.
- Sadzawka, A., Grez, R., Carrasco, M. A., & Mora, M. d. (2004). *Métodos de análisis de tejidos vegetales*. Santiago de Chile: cna (comisión de normalización y acreditación).
- Samy, A., Leyton, F., Muñoz, E., Gordillo, M., Gian, C., Sánchez, G., . . . Soto, A. (2015). *Estimación del factor de condición de fulton (k) y la relación longitud-peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del Río Cauca*. Recuperado el 2018, de Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas: file:///C:/Users/DL/Downloads/99-394-1-PB.pdf
- Seyidoglu, N., Inan, S., & Cenk, A. (2017). *A Prominent Superfood : Spirulina platensis Technology & Medicine*.
- Sirakov, I., & Velichkova, K. (2012). *The effect of algae meal (Spirulina) on the growth performance and carcass parameters of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. Obtenido de <http://www.jbb.uni-plovdiv.bg/documents/27807/178249/se-2012-151-156.pdf>.
- Torres, G. (2010). *Descripción anatómica, histológica y ultraestructural de la branquia e hígado de tilapia (Oreochromis niloticus)*. Int. J. Morphol.
- Vásquez, W. (2001). *Nutrición y alimentación de peces*.