



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES IZTACALA

EVALUACIÓN DEL USO DE POLVO DE *SPIRULINA* SP.  
COMO FUENTE DE PROTEÍNA EN DIETAS BALANCEADAS  
DE TRUCHA ARCOIRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) Y  
EFECTO EN EL CRECIMIENTO Y EN LAS DESCARGAS DE  
FÓSFORO Y NITRÓGENO.

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO(A) EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(EXPERIMENTAL)**

P R E S E N T A

MONICA FLORES GONZÁLEZ.

DIRECTOR(A) DE TESIS: DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F.

DICIEMBRE, 2009.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

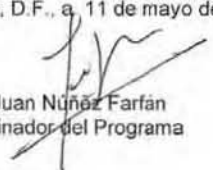
**Dr. Isidro Ávila Martínez**  
**Director General de Administración Escolar, UNAM**  
**Presente**

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 12 de octubre de 2009, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA EXPERIMENTAL)** de la alumna **MONICA FLORES GONZALEZ** con número de cuenta **098256417** con la tesis titulada **"Evaluación del uso de polvo de *Spirulina sp* como fuente de proteína en dietas balanceadas de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y efecto en el crecimiento y en las descargas de fósforo y nitrógeno"** realizada bajo la dirección del **DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ:**

**Presidente:** DR. ISAIAS HAZARMABETH SALGADO UGARTE  
**Vocal:** DR. JOSÉ LUIS GOMEZ MARQUEZ  
**Secretario:** DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ  
**Suplente:** DR. RAFAEL VILLALOBOS MOLINA  
**Suplente:** DR. GERARDO GAMBA AYALA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**Atentamente**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 11 de mayo de 2009.

  
Dr. Juan Núñez Farfán  
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

## AGRADECIMIENTOS

*Con admiración y gratitud a:*

Al Posgrado de Ciencias Biológicas, UNAM.

Por las experiencias y enseñanzas que me ha dado.

Por brindarme un universo de conocimientos y oportunidades.

*Por el apoyo recibido de:*

Beca CONACYT por la beca 210478 otorgada durante dos años. Asimismo por el apoyo recibido a fomento a la graduación.

*Con respeto a:*

El Comité Tutorial integrado por:

Dr. Luis Héctor Hernández Hernández.

Dr. José Luis Gómez Márquez.

Dr. Sarma Singaraju Sri Subrahman.

Por sus recomendaciones y Comentarios en el desarrollo de la Maestría.

*Con toda mi agradecimiento y respeto a:*

Los miembros del Jurado:

Dr. Isaias Hazarmabeth Salgado Ugarte.

Dr. Luis Héctor Hernández Hernández.

Dr. José Luis Gómez Márquez.

Dr, Rafael Villalobos Molina.

Dr. Gerardo Gamba Ayala.

A cada uno de los revisores, por su tiempo y sus enriquecedores comentarios aportados a esta tesis.

*Con toda mi admiración y respeto a:*

*Mto. Mario Fernández Araiza.*

*Dr. Héctor Hernández Hernández.*

*Biol. Omar Ángeles López.*

Por todo el apoyo brindado para realización de esta tesis. Por compartir sus conocimientos y sus experiencias.

Por darnos su tiempo y la paciencia a cada uno de los alumnos en este arduo camino.

*Con todo mi amor y cariño a mi Esposo:*

Por todas las alegrías, las risas, las pláticas. Por cada uno de los momentos buenos y malos que nos hacen cada día más fuertes.

Gracias por recorrer este camino conmigo, por estar a mi lado aprendiendo y conociendo cada momento de la vida.

Por que en los momentos más difíciles me has dado tu amor, tu comprensión, tu cariño.

Gracias por no soltar mi mano, por ser mi amor, mi cómplice, y por que somos mucho más que dos.

*Con amor y gratitud a mis Padres:*

Por darme la vida y con ella la oportunidad de conocer todas las maravillas que tiene.

A mi madre, por todo su amor, su comprensión, por apoyarme en los momentos que más necesite de ti. Por enseñarme a luchar por mis sueños.

A mi padre, por tu preocupación constante de mi salud y de mi desarrollo como ser humano. Por ayudarme a ser cada día mejor y por enseñarme a no claudicar y salir adelante.

*Con un fuerte abrazo y amor a mis hermanos:*

Por las travesuras, los juegos, las enseñanzas compartidas y su compañía.

A ti Diego, por tu tiempo, por tu manera tan especial de hacer sentir tu cariño y preocupación. Por mantener presente a cada momento tu preocupación por la unión de la familia.

A ti Sandra, por las pláticas, por las desveladas que nunca podré olvidar, por tu cariño, tu apoyo y sobre todo por que siempre serás mi hermana y tienes un lugar muy especial en mi mente y corazón.

A ti Álvaro, por tu apoyo, por tu tiempo, por tu ayuda en los momentos más difíciles, por estar en los momentos más importantes de mi vida. Por las travesuras y juegos compartidos de niños.

*Con mucho cariño y admiración a mis abuelos:*

*Mamá Marci y Papá Lupe.*

*Mamá Rita y Papá Ismael.*

Por su tiempo, sus pláticas y experiencias. Por dejarme ser parte de su presente y estar en los momentos más importantes.

*Con mucho cariño a mis tíos:*

Por sus pláticas, por los momentos que pasamos juntos y sobre todo por formar parte de mi vida. Muchas gracias: María, Guadalupe, Oscar, Luis, Rogelio, Francisco, David, María, Arturo, Antonia, Isabel, Miguel, Librado, Lupe, Benito, Josefina, Leticia, Miguel.

*Con un fuerte abrazo y gran cariño a mis primos:*

Por su cariño, su apoyo, por su preocupación, y cada uno de los momentos que pasamos juntos. A pesar de la distancia siempre están presentes en mi corazón: Norma, Vero, Roge, Marco, Dany, Lalo, Beto, Lupita, Toño, Mireya, Ana, Gris, Mago, Gera, Gabino, Gabriel, Areli, Pepe, Ricardo, Abigail, Jessy, Caro, Rita, Leo, Gracias por todo.

*Con todo mi cariño y gratitud:*

*A mi nueva Familia.*

Gracias por abrirme las puertas de su casa y su corazón.

A la Sra. Guillermina, por todo su apoyo, su tiempo, y ayuda en los momentos más difíciles. Gracias por todas las enseñanzas.

A ti Haydeé, por que con tus pláticas, tus juegos, y tú apoyo hicieron más llevaderos estos últimos meses.

A ti Gabriel, por todo tu apoyo, las tardes lúdicas, y de pláticas. Gracias por integrarnos a sus vidas. Gracias por todo.

*Con un fuerte abrazo y mucho cariño a mis amigas:*

Mta Gabriela, Mary, Anel, Laura Angélica, Aurea,

Liliana, Zaida, Topacio, Nelly, Mariana, y Yolo.

Por darme su amistad, por cada una de las palabras de aliento y consejos. Por su apoyo en cada uno de los momentos que necesite su ayuda.

*Con cariño y gratitud a mis amigos:*

Mto Fernando, Efrén, Edgar, Fernando chico, Alejandro, Quique, Carlos, Salomón, Fernando.

Gracias por todo su apoyo y sus frases de aliento en cada momento. Por todas y cada una de las lecciones que me han dado.

*Con todo mi cariño y agradecimiento*

*A mis amigos y compañeros del acuario:*

Topacio, Zaida, Alberto, Carlos, Gerardo, Ariel, Saúl, Rafa, Anel, Santiago, Tere, Yessel y Dan.

Gracias, por las charlas del laboratorio, por las bromas, por los reuniones y sobre todo por su apoyo y por hacer más agradable mi estancia en el acuario.

En especial a ti Topacio y Ariel, por que sin su ayuda y apoyo para la tramitación de esta tesis hubiera quedado trunca.

“Gracias a todos y cada uno, por estar en mi pasado,  
mi presente y mi futuro”

Gracias por dejarme conocer el amor

Y sobre todo gracias Dios,

por haber puesto en mi vida personas maravillosas,  
y por darme una hermosa familia.



## DEDICATORIA.

*A Irving Mejia Navia,*

Por que en este nuevo camino que hemos decidido tomar juntos, a pesar de los contratiempos, y sin sabores que hemos tenido, no soltaste mi mano. Por que hemos estado juntos en las buenas y en malas. Y sobre todo por que a pesar de las malas noticias hemos salido a delante y nuestra familia se hace cada días más fuerte.

Gracias por todo el amor, cariño, comprensión y apoyo que me has brindado, gracias por que a pesar de lo cansado o estresado que estés siempre me has brindado tus palabras de apoyo y consuelo.

Mil gracias por darme fuerzas para salir adelante, para seguir luchando por cada uno de mis sueños, por enseñar a ser de lucha constante y de esfuerzo, y sobre todo por enseñarme a no claudicar por más difícil que las cosas parezcan.

Por todos y cada uno de los momentos que hemos pasado juntos, por dejarme conocerte como eres y por estar juntos en esta nueva etapa de nuestra vida.

Gracias amor, por el nuevo ser que esta creciendo en mi vientre, gracias por enfrentar cada uno de los momentos de esta nueva vida juntos. Pero sobre todo mil gracias por tu preocupación por mí y por esta nueva vida que llena de nuevas fuerzas e ilusiones a nuestras vidas.

Y finalmente al angelito que estamos esperando llegue en unos meses, a ti, pues en ti están todas y cada una de nuestras esperanzas, pues tenemos mucha fé de que estarás con nosotros disfrutando de las maravillas que tiene la vida, creciendo y aprendiendo junto con nosotros. Pues aún antes de conocerte te amamos y te esperamos con el corazón en las manos.

## ÍNDICE

1. RESUMEN .....	1
2. ABSTRACT .....	3
3. INTRODUCCION.....	5
3.1. Problemática del uso de la harina de pescado .....	8
3.2. Fuentes de proteína alternativa como sustituto de dietas comerciales .....	12
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
5. ANTECEDENTES .....	17
5.1. Proteína alternativa.....	17
5.2. Uso de <i>Spirulina</i> sp. en dietas balanceadas .....	20
6. JUSTIFICACIÓN.....	22
7. ALCANCE .....	22
8. HIPOTESIS .....	23
9. OBJETIVOS.....	23
10. MATERIAL Y MÉTODO .....	25
10.1. Cultivo de <i>Spirulina</i> sp. y obtención de biomasa .....	25
10.2. Obtención de peces.....	25
10.3. Prueba de palatabilidad.....	26

10.4. Formulación y elaboración de las dietas.....	27
10.5. Condiciones experimentales.....	29
10.6. Fases de alimentación.....	31
10.7. Evaluación del crecimiento (g) y determinación del Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.....	33
10.8. Determinación del consumo de oxígeno y la excreción de fósforo y nitrógeno .	35
10.9. Análisis proximales .....	35
10.9.1. Medición de proteínas sin precipitación de proteínas .....	36
10.9.2. Método de extracción de lípidos.....	37
10.9.3. Medición de Cenizas y Humedad.....	37
11. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	38
12. RESULTADOS .....	39
12.1. Cultivo de <i>Spirulina sp.</i> y obtención de biomasa .....	39
12.2. Prueba de palatabilidad.....	39
12.3. Primera fase de alimentación.....	40
12.3.1. Crecimiento y Supervivencia .....	40
12.3.2. Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.....	48
12.3.3. Excreción de Fósforo y Nitrógeno .....	50
12.3.4. Consumo de oxígeno .....	52

12.3.5. Porcentaje de proteína (músculo, hígado, suero sanguíneo) .....	54
12.3.6. Excreción de (PO <sub>4</sub> ) en excretas .....	57
12.3.7. Concentración de lípidos .....	59
12.4. Segunda fase de alimentación .....	61
12.4.1. Crecimiento y Supervivencia .....	61
12.4.2. Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.....	68
12.4.3. Excreción de Fósforo y Nitrógeno .....	69
12.4.4. Consumo de oxígeno .....	71
12.4.5. Porcentaje de proteína (músculo, hígado, suero sanguíneo) .....	72
12.4.6. Excreción de (PO <sub>4</sub> ) en excretas .....	75
12.4.7. Concentración de lípidos .....	77
13. DISCUSIÓN.....	79
14. CONCLUSIONES.....	88
15. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS .....	92
ANEXO 1 .....	93
ANEXO 2 .....	111
ANEXO 3 .....	112
ANEXO 4 .....	114
REFERENCIAS .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Longitud de los organismos (cm) promedio por pez .....	47
<b>Figura 2.-</b> Coeficiente de Digestibilidad Aparente (%).....	48
<b>Figura 3.-</b> Producción de PO <sub>4</sub> , promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.....	50
<b>Figura 4.-</b> Producción de N-NH <sub>4</sub> promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.....	51
<b>Figura 5.-</b> Consumo de O <sub>2</sub> en truchas alimentadas, después de 40 minutos en el respirómetro.....	52
<b>Figura 6.-</b> Porcentaje de proteína en (músculo, hígado, suero sanguíneo).....	54
<b>Figura 7.-</b> Concentración de PO <sub>4</sub> en excretas, después de 60 días de alimentación.....	57
<b>Figura 8.</b> Longitud de los organismos (cm) promedio por pez .....	67
<b>Figura 9.-</b> Coeficiente de Digestibilidad Aparente (%).....	68
<b>Figura 10.-</b> Producción de PO <sub>4</sub> , promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.....	69
<b>Figura 11.-</b> Producción de N-NH <sub>4</sub> promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro.....	70
<b>Figura 12.-</b> Consumo de O <sub>2</sub> en truchas alimentadas, después de 40 minutos en el respirómetro.....	71
<b>Figura 13.-</b> Porcentaje de proteína en (músculo, hígado, suero sanguíneo).....	72
<b>Figura 14.-</b> Concentración de PO <sub>4</sub> en excretas, después de 60 días de alimentación.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Formulación de dietas para juveniles de trucha arcoiris.....	28
<b>Tabla2.</b> Formulación de las dietas con diferentes grados de inclusión.....	28
<b>Tabla 3.</b> Condiciones experimentales de la fase de alimentación 1 .....	30
<b>Tabla 4.</b> Condiciones experimentales de la fase de alimentación 2. ....	31
<b>Tabla5.</b> Resultados de los análisis proximales realizados al polvo de <i>Spirulina</i> sp.....	39
<b>Tabla 6.</b> Resultados de la prueba de palatabilidad de la dieta con 100% de polvo de <i>Spirulina</i> sp.....	39
<b>Tabla 7.</b> Peso Final (PF) (g), Ganancia en Peso (GP) (%), Tasa de Crecimiento Especifico (TCE) (%), y Supervivencia (%), promedio por pez.....	40
<b>Tabla 8.</b> Consumo de alimento (CD) (g), Tasa de Conversión de Alimento (TCA) (g), Tasa de Eficiencia de la Proteína (TEP), promedio por pez.....	44
<b>Tabla 9.</b> Concentración de lípidos (%) promedio por pez, obtenido después de 60 días de alimentación .....	59
<b>Tabla 10.</b> Peso Final (PF) (g), Ganancia en Peso (GP) (%), Tasa de Crecimiento Especifico (TCE) (%), y Supervivencia (%), promedio por pez.....	61
<b>Tabla 11.</b> Consumo de alimento (CD) (g), Tasa de Conversión de Alimento (TCA) (g), Tasa de Eficiencia de la Proteína (TEP), promedio por pez.....	64
<b>Tabla 12.</b> Concentración de lípidos (%) promedio por pez, obtenido después de 60 días de alimentación .....	77

## 1. RESUMEN.

El polvo de *Spirulina* ha sido sugerido como un sustituto de la harina de pescado en dietas para la acuicultura, pero hasta ahora no se tiene información de él como ingrediente de dietas de la trucha arco iris. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue determinar los efectos sobre el crecimiento y la excreción de P y N, de varios niveles de inclusión de polvo de *Spirulina* en la dieta de alevines de trucha arcoiris.

Cuatro dietas experimentales con sustituciones de 25, 50, 75 y 100% de harina de pescado con polvo de *Spirulina* fueron preparadas. Una dieta de control con 100% de harina de pescado fue también preparada. Juveniles de  $11.5 \pm 0.4$  g (media del peso inicial  $\pm$  desviación estándar) fueron aleatoriamente colocados en 15 tanques de recirculación (de plástico, de 100 L/tanque, 10 peces / tanque). En cada prueba de alimentación se alimentó a los grupos por triplicado. Los peces fueron alimentados con las dietas correspondientes al 7% del peso corporal total y, en cada ración diaria, el tamaño de la ración se dividió en dos tomas iguales dando una en la mañana y otra en la tarde. El ensayo de alimentación se llevó a cabo durante 50 días. Al final de este período, la tasa de crecimiento, la excreción de  $PO_4$  y  $N-NH_4$  se determinó y se realizaron análisis estadísticos.

Se observó una tendencia de valores menores de crecimiento conforme aumentaba la cantidad de polvo de *Spirulina* en las dietas, pero sólo se observó un peso significativamente menor ( $P < 0.05$ ) en el grupo de juveniles, alimentados con la dieta con *Spirulina* 100% en comparación con la dieta *Spirulina* 25 % y el control.

El P (como  $PO_4$ ), en la primera fase de la alimentación mostró valores significativamente más altos en el grupo de *Spirulina* 25% y 75%, mientras que la excreción, significativamente más baja, se observó en el grupo de *Spirulina* 50%. En la

segunda fase de la alimentación, la excreción de P, mostró valores significativamente más altos en el grupo de *Spirulina* 50%, mientras que los valores significativamente más bajos se observaron cuando se utilizó polvo de *Spirulina* al 100%.

El N (como N-NH<sub>4</sub>) en la primera fase de la alimentación, se observaron valores significativamente más altos en los grupos de *Spirulina* 100% y 50%, mientras que la excreción mostró una igualdad significativa entre los otros grupos. La excreción de N fue significativamente menor en el grupo *Spirulina* 100%. No se observaron diferencias significativas entre los otros grupos de la segunda fase de alimentación.

Los resultados presentados muestran la posibilidad de usar el polvo de *Spirulina* como sustituto de la harina de pescado en la dieta de la trucha arco iris. Además, los datos indican que un nivel de 25% de inclusión genera un crecimiento mejor que el observado para una dieta exclusivamente con harina de pescado como fuente de proteínas. La inclusión del 25% también podría ser útil para reducir la excreción de P y N.



## 2. ABSTRACT

*Spirulina* powder has been suggested as a substitute of fishmeal in aquafeeds, but so far no information is available of it as an ingredient of rainbow trout diets. For this reason, the aim of this research was to determine the effects on the growth performance and P and N excretion of several substitution levels of *Spirulina* powder in diet of juvenile rainbow trout.

Four experimental diets with substitutions of 25, 50, 75 and 100% of fishmeal with *Spirulina* powder were prepared. A control diet with 100% of fish meal was also setup. Juveniles of  $11.5 \pm 0.4$  g (mean initial weight  $\pm$  standard deviation) were randomly stocked in 15 recirculation tanks (plastic, rounded 100 L tanks, 10 fish/tank). Each test diet was fed to triplicate groups. The fish were fed with the respective diets at 7% of the total body weight and each daily ration size was divided into two equal feedings offered at morning and afternoon. The feeding trial was conducted for 50 days. At the end of this period, the growth performance, excretion of  $\text{PO}_4$  and  $\text{N-NH}_4$  was determined and statistical analyses were done.

A trend towards lower values of growth performance was observed as *Spirulina* powder increased in the diets, but a significantly lower final weight ( $P < 0.05$ ) was observed only on the group of juveniles fed on *Spirulina* 100% diet, when compared with the *Spirulina* 25% diet and control.

The P (as  $\text{PO}_4$ ) in the first phase of feeding showed significantly higher values were observed in the *Spirulina* 25% and 75% groups; while significantly lower

excretion was observed of *Spirulina* 50% group. In the second phase of feeding, the P significantly higher excretion was observed in the *Spirulina* 50% group; while significantly lower values were observed when *Spirulina* powder was used as 100%.

The N (as N-NH<sub>4</sub>) a in the first phase of feeding showed significantly higher values were observed in the *Spirulina* 100% and 50% groups; while significantly equal excretion was observed among the other group. The significantly lower N excretion (as N-NH<sub>4</sub>) was observed of *Spirulina* 100% group. No significant differences were observed among the other groups in the second feeding phase.

The present results show the possibility of using *Spirulina* powder as substitute of fishmeal on diets of rainbow trout. Besides, the presented data, indicates that a level of 25% of substitution generates a better growth performance than the observed for a diet with exclusively fishmeal as protein source. The 25% substitution also might be helpful in reducing P and N excretion.

### 3. INTRODUCCIÓN

La Acuicultura es una de las actividades productoras de alimento que más ha crecido en los últimos 20 años. De acuerdo con el reporte Food Outlook de la FAO (2007), la producción de productos pesqueros total, en 2006, fue de 144 millones de toneladas, de las cuales, cerca de 53 millones fueron producidas exclusivamente por cultivo.

Durante los últimos 30 años, la acuicultura ha crecido más rápido en todo el mundo que cualquier otro sector de producción animal. De hecho, su crecimiento medio anual ha sido del 10% en comparación con el 3% de la industria ganadera y el 1.6% de la captura de especies acuáticas de entornos naturales. El fuerte crecimiento de la acuicultura ha generado como consecuencia un crecimiento anual del 30% en la producción de especies de alimentos acuáticos y ha generado que las materias primas proporcionen un desafío continuo a esta industria (Garduño- Lugo, 2008).

En el caso de México, las últimas estadísticas de CONAPESCA-SAGARPA (2005) reportan un incremento anual, aproximado, del 10% de la producción acuícola del país, con una producción por acuicultura en el 2005 de 235,845 toneladas, que representa el 16.2% de la producción total de productos pesqueros.

Este crecimiento e intensificación de la acuicultura en el mundo y particularmente en México, ha sido acompañado por un aumento en la demanda de alimentos balanceados (Gatlin, 2007), que de acuerdo con la FAO (2006), empieza a generar algunos efectos negativos en la industria y el ambiente: (1) Un aumento en las capturas, en el medio natural, de especies pelágicas que sirven como materia prima de harina y aceite de pescado y que son los ingredientes principales de las dietas

comerciales de especies carnívoras y omnívoras. (2) Enriquecimiento de productos orgánicos de las aguas de los estanques de cultivo, creando sedimentos anóxicos. (3) Cambios en las comunidades del bentos. (4) Eutrofización de lagos y zonas costeras cercanas de donde se encuentran las granjas.

El logro de un crecimiento verdaderamente sostenible de la industria de la acuicultura depende de la disminución progresiva en el uso de proteínas y lípidos de origen marino en la alimentación de los peces de crianza. (Garduño- Lugo 2008).

En México, una de las especies más importantes de cultivo es la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*): la producción ha aumentado en los últimos años y en el 2005 se reportó una producción de 3,829 toneladas con un valor de \$ 68,832,000 (CONAPESCA-SAGARPA, 2005). Gran parte de esta producción se realiza de forma intensiva, en la que se utilizan dietas balanceadas comerciales, las cuales contienen entre un 25 y 40% de harina de pescado; sin embargo, el porcentaje de utilización de P de este tipo de harinas es en promedio del 50%, por lo que una gran cantidad de P no es utilizada y desechada a través de las heces y excreciones metabólicas. Sin embargo, no existe información disponible sobre el uso de harinas vegetales, como posibles sustitutos de la harina de pescado, en dietas balanceadas de trucha.

La trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* pertenece a la familia Salmonidae y es nativa de América del Norte y México, su distribución natural abarca los estados de Durango, Chihuahua, Baja California, Sinaloa y Sonora (SEMARNAP, 2000).

La trucha arco iris se introdujo en diversas partes del mundo desde 1874 para su cultivo (Billard, 1991). A partir de la década de los 50's, la producción ha crecido exponencialmente y en 2003 se produjeron 490,652 toneladas en 64 países y entre los principales productores están Chile, Noruega, Dinamarca y Francia (FAO, 2005).

En México se inició el cultivo a finales del siglo XIX, con la introducción de huevos adquiridos en los Estados Unidos. El desarrollo extensivo de la producción se inició en la década de los 40's con la construcción de las estaciones piscícolas de Almoloya del Río y del Zarco, y en la década de los 70's se dio un impulso gubernamental para que el cultivo de trucha cambiara de producción extensiva a intensiva (SEMARNAP, 2000). Con ello, la producción se empezó a consolidar y para el año 2003, la producción de trucha arcoiris en el país fue de 3,734 toneladas (CONAPESCA, 2003). Por tanto, la producción de trucha arco iris en México es un sistema productivo con grandes avances, pero que requiere todavía de resolver algunos problemas para lograr el despegue económico y la sustentabilidad.

La producción de trucha arcoiris en México se realiza en la zona V interior, representando 99.4% de la producción total; esta zona comprende los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas. En el ciclo 1994-1995 la producción nacional de esta especie fue de dos millones de toneladas; en peso vivo, de esta cifra 65% son crías nacionales, mientras que el 35% restante se abasteció, de la importación de huevo y crías de Estados Unidos, Inglaterra, Sudáfrica y Australia (Zamora, 1999)

La trucha arcoiris, se ha logrado adaptar a diferentes condiciones, mostrando una buena aceptación a los alimentos balanceados, lo que hace una de las razones mas importantes de su amplia distribución, en especial considerando que no todas las especies se adaptan a distintos ambientes (Zamora,G. 1999).

### **3.1. PROBLEMÁTICA DEL USO DE HARINA DE PESCADO.**

El cultivo de organismos marinos, específicamente peces, representa una alternativa económica con un gran potencial de desarrollo en México. Si bien es cierto que actualmente, esa actividad tiene gran dificultad durante el cultivo de las fases iniciales de desarrollo de los organismos, el éxito de la acuicultura como unidad de producción y como ámbito de investigación, representa gran importancia dentro de los planes de desarrollo de nuestro país (Civera y Ortiz, 1997).

Entre los principales problemas con la producción de trucha, es que a pesar de que las granjas no son consumidoras de agua, la que utilizan es enriquecida con nutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), que reducen la calidad del agua e inducen la eutrofización de los cuerpos de agua (Hardy, 2002), y provienen principalmente de dietas no consumidas, heces y excreciones metabólicas.

Para aliviar este impacto negativo en el uso del agua, actualmente existen a nivel mundial diferentes propuestas para reducir las descargas de dichos elementos, siendo una de las más prácticas y baratas el uso de dietas que actualmente se conocen como “DIETAS AMIGABLES CON EL AMBIENTE”. La formulación de estas dietas considera: (i) el uso de ingredientes con una cantidad limitada de P, (ii) que el P disponible tenga una alta bio-disponibilidad y (iii) que las dietas tengan una alta tasa de digestibilidad.

Los ingredientes que aportan una mayor cantidad de P y N en las dietas comerciales son las harinas de pescado, principal fuente de proteína. Por tanto, se ha sugerido que el reemplazo de las harinas de pescado por harinas de origen vegetal, pueden reducir el P, aumentar la digestibilidad de N y reducir las descargas de dichos

elementos. Asimismo, el uso de harinas vegetales disminuye los costos de producción del alimento, al ser más baratas que las harinas de pescado.

Actualmente las dietas comerciales para trucha contienen del 25 - 40% de harina de pescado; sin embargo, el porcentaje de utilización de P de este tipo de harinas es en promedio del 50%, por lo que una gran cantidad de P no es utilizada y desechada a través de las heces y excreciones metabólicas (Ardí, 2002).

Para lograr una dieta exitosa es necesario considerar aspectos tales como el tamaño de la boca del pez, la conducta alimenticia, la palatabilidad, los requerimientos nutricionales y la estabilidad del alimento en el agua (Rueda, 2005).

Los alimentos balanceados para peces son los más costosos del mercado debido al hecho, que en general tienen una alta densidad de nutrientes (ricos en proteína y energía), están compuestos por ingredientes de alta calidad y son manufacturados utilizando procesos costosos (extrusión). Parte de este alto costo puede ser también atribuido a la excesiva confianza que se le da a la harina de pescado como fuente de energía (Bureau, 2000).

El ingrediente que mayor impacto tiene sobre la calidad del alimento es la fuente de proteínas, que por su costo y porcentaje de inclusión (hasta 60%) tiene un efecto directo sobre la economía del cultivo y que por su naturaleza nitrogenada, puede impactar directamente la ecología del entorno. Dos tercios de la proteína utilizada en alimentos acuícolas proviene de la harina de pescado, por lo que la dependencia de este insumo resulta ser un problema, ya que este tipo de harina no solo es utilizada para la elaboración de alimento balanceado para acuicultura, sino además es ampliamente utilizada por el sector avícola y el sector porcícola entre otros, que son los principales consumidores de este insumo (aproximadamente 55 y 20% respectivamente), por lo

que la adquisición de harina de pescado es sumamente competitiva, sobre todo cuando se trata de adquirir una harina de buena o excelente calidad, necesaria para los alimentos acuícolas de calidad (Goytortúa, 2000).

La harina de pescado de buena calidad proveniente del pescado entero, es un ingrediente que tiene muchas cualidades nutricionales. Es rico en proteína altamente digestible (si ha sido adecuadamente procesada) y de excelente calidad, ya que contiene altos niveles de la mayoría de los aminoácidos esenciales, frecuentemente en proporciones que cumplen con los requerimientos del pescado (Bureau, 2000).

La harina de pescado de excelente calidad se caracteriza por tener alta palatabilidad, proteínas con buena digestibilidad y nivel de aminoácidos esenciales disponibles en cantidad suficiente, para cubrir los requerimientos de la especie bajo cultivo, además de altos niveles de energía. Son estas características las que hacen a la harina de pescado un ingrediente muy solicitado por la industria de alimentos balanceados, y el nivel de producción de estas harinas es la principal desventaja, ya que es un ingrediente escaso y con un futuro poco alentador, ya que la captura de peces destinados a la elaboración de harinas, si bien mostró un crecimiento constante de los 60's a los 80's, se ha mantenido constante desde entonces, y se espera que estos niveles de producción no aumenten (Goytortúa, 2000).

La harina de pescado de buena calidad es un componente esencial para el éxito de los alimentos para salmónidos. La harina de pescado y otros productos ricos en proteína, comúnmente representan entre el 25 y 70% de la mayoría del alimento comercial para salmónidos, peces marinos y camarón (Bureau, 2000).

La harina de pescado contiene también varios de los nutrientes esenciales para el pescado, como ácidos grasos poli insaturados, minerales, vitaminas, fosfolípidos, colesterol, etc. Finalmente, tiene excelente palatabilidad para la mayoría de las



especies. Todos estos factores deben de ser tomados en cuenta al momento de incrementar los niveles de otras fuentes de proteína en la dieta, deficiencias nutricionales, baja digestibilidad, incorrecto balance de aminoácidos, niveles altos de ciertos compuestos anti nutricionales o baja palatabilidad, ayudan a explicar el decremento en el desarrollo del pescado (Bureau, 2000)

El uso de alimento de baja calidad representa un alto costo económico y ecológico, ya que, si no proporciona los nutrientes requeridos por la especie en cultivo, aumenta el riesgo de enfermedades por desnutrición y afecta el crecimiento de los organismos; además, el alimento no consumido y no digerido impacta directamente en la ecología del sistema de cultivo y su entorno. Por otro lado, el alimento representa el principal costo de producción en sistemas de cultivo semi-intensivo e intensivo y su calidad y rentabilidad depende de los ingredientes que lo componen, del proceso utilizado en su elaboración y del manejo que se le dé en la granja, por lo cual el uso de alimento elaborado a partir de ingredientes de buena calidad y elaborados con técnicas apropiadas, aumenta la probabilidad de éxito de un cultivo en términos tanto económicos como ecológicos (Goytortúa, 2000).

En la acuicultura el beneficio económico está íntimamente relacionado con los costos del alimento, debido a que en su elaboración se requieren niveles altos de proteína. Sin embargo, para la producción de alimento destinado a las especies acuícolas, la harina de pescado ha sido tradicionalmente la base de los alimentos comerciales para peces, debido a su valor nutritivo y palatabilidad (Martínez, 1999).

### **3.2. FUENTES DE PROTEINA ALTERNATIVA COMO SUSTITUTOS DE DIETAS COMERCIALES.**

La industria de los alimentos acuícolas está creciendo de forma paralela a la acuicultura y el objetivo en esta área es obtener alimentos cada vez más eficientes y económicos (Llanes, 2008).

Existe desconfianza por parte de acuicultores, productores de alimento y por los nutricionistas en cuanto al uso de cualquier otro tipo de proteína que no sea de origen marino. La industria acuícola considera que las especies marinas de alto valor comercial como el salmón, se deben de alimentar con harina de pescado, para alcanzar los requerimientos nutricionales para el crecimiento y la salud del animal (Bureau, 2000).

Investigaciones conducidas apropiadamente, utilizando dietas experimentales nutricionalmente completas, balanceadas y gustosas, con bajos o nulos niveles de harina de pescado, han demostrado que se trata de un problema de compensación para todos los factores anteriormente descritos (Bureau, 2000).

La producción de dietas exitosas libres de harina de pescado requiere el uso de ingredientes altamente procesados y costosos. Aún cuando estas dietas mantienen un buen desarrollo del pez, su producción es más costosa si las comparamos con aquellas que contienen harina de pescado. Esto es debido al alto costo de algunos de los ingredientes necesarios. El uso de pequeñas cantidades de harina de pescado (20%) en la mayoría de los alimentos para salmónidos y peces marinos resulta más económico. Es mucho mejor reducir gradualmente la harina de pescado en el alimento, aprendiendo lentamente por prueba y error, que intentar cambiar repentinamente de una dieta con alta concentración a una dieta libre de harina de pescado (Bureau, 2000 ).

Diversos investigadores han dirigido su interés hacia la búsqueda de ingredientes que sustituyan, parcial o totalmente, a la harina de pescado. Las fuentes proteínicas que sustituyan a la harina de pescado deberán estar fácilmente disponibles, ser económicamente accesibles y tener una calidad nutrimental adecuada. En la actualidad se han evaluado ingredientes, tanto de origen vegetal como de origen animal, que cumplan estas características (Goytortúa, 2000).

La harina de pescado es el ingrediente principal que brinda proteínas en el alimento para los peces, es escaso y muy caro, particularmente en países en desarrollo, por lo cual existe una creciente demanda de fuentes alternativas de proteínas. Siendo las semillas de leguminosas una buena opción debido a que sus costos son bajos y la disponibilidad del mercado es alta (Fagbenro, 1998).

Entre los ingredientes de origen vegetal analizados se encuentran subproductos de semillas de oleaginosas, proteínas unicelulares, concentrados proteínicos, subproductos agro-industriales, macrofitas acuáticas, así como también semillas y hojas de leguminosas. Los resultados de estas evaluaciones son muy variados, pero predomina el hecho que niveles de inclusión altos de proteína de origen vegetal en alimentos acuícolas, producen una reducción del crecimiento y una pobre eficiencia alimentaria en los organismos que los consumen. Este efecto puede deberse al deficiente balance en nutrimentos requeridos por los organismos, a la presencia de factores antinutricionales y a la disminución de la palatabilidad y estabilidad de los alimentos. Aunque ya se cuenta con tecnologías mejoradas para la remoción de factores antinutricionales de los ingredientes de origen vegetal, persiste el problema de que niveles altos de inclusión de estos ingredientes han mostrado reducir la palatabilidad de los alimentos, principalmente en especies carnívoras (Goytortúa, 2000).

Los atrayentes químicos alimenticios son importantes en la formulación de las dietas. Estas sustancias son ampliamente reconocidas como medio para incrementar la respuesta de las diferentes especies a un cierto alimento y reducir así el desperdicio del mismo debido a una mala palatabilidad (Martínez, 1999).

El incremento de los costos de proteínas animales y vegetales hace necesaria la exploración de fuentes nutricionales alternas (como proteínas de otros orígenes). Debido al costo y al suministro limitado de la harina de pescado se han buscado fuentes alternas de proteínas baratas de origen animal y vegetal, como por ejemplo: harina de soya, harina de semilla de algodón, harina de sangre, harina de subproductos de aves, harina de algas, para formular alimentos para especies de importancia comercial, como es el caso de trucha arcoiris (Martínez, 1999).

La harina de pescado, por su alto costo ha obligado a los nutricionistas acuícolas a buscar fuentes de proteínas alternas, como es el caso de las proteínas de origen vegetal en las dietas para peces. Para seleccionar un alimento de una dieta para un organismo, existen varios criterios que se deben considerar, entre los cuales se encuentra que el alimento sea palatable, ingerible y capturable, así como el que sea de bajo costo y de fácil disponibilidad (Martínez, 1999).

Palacios et al., 2007, encontraron que el uso de una mezcla de probióticos y prebiótico en dietas para truchas arcoiris, presentan un incremento de peso, conversión alimenticia, sobrevivencia y relación beneficio – costo, frente a dietas sin esta mezcla.

En el mundo, en los pasados diez años, la producción de alimentos procedentes de la acuicultura de aguas marinas y continentales ha crecido, significativamente, a una tasa del 9.2% anual, comparada con sólo el 1.4% de las capturas pesqueras y el 2.8% de los sistemas de producción de carne procedente de animales terrestres. La importancia de la acuicultura es cada vez más reconocida, sobre todo en el abastecimiento de

pescado como alimento de consumo humano, debido a que proporciona más del 15% del suministro total de proteínas animales de alto valor biológico y bajo costo (Palacios, 2007).

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las dietas comerciales contienen una gran proporción de harina de pescado, por lo que aportan una cantidad importante de P y N (Hardy, 2002), que no es asimilada completamente por los organismos, lo que causa una disminución en la calidad del agua. Las dietas para trucha y otros salmónidos, con harinas vegetales, han mostrado que pueden soportar el crecimiento como las dietas normales con harina de pescado (Bergheim y Sveier, 1995), y al mismo tiempo reducir el fósforo y aumentar la digestibilidad de nitrógeno, disminuyendo las descargas de dichos elementos (Storebakken, 2000).

## 5. ANTECEDENTES

### 5.1. PROTEINA ALTERNATIVA

Numerosos trabajos han demostrado que el uso de fuentes alternativas de proteína puede sustituir a la harina de pescado en dietas balanceadas para peces en cultivo. Por ejemplo, El Saïdy *et al.* (2003), basados en su estudio de reemplazo parcial de harina de pescado por una mezcla de proteínas vegetales, reportaron que estas pueden ser económicamente superiores a la harina de pescado y pueden reemplazarla completamente en la dieta para tilapia del Nilo. Uyan *et al.* (2006), mostraron que el polvo de músculo de atún (TMP), como ingrediente en el alimento, es capaz de reducir la descarga de fosfato en el medio ambiente y es un buen reemplazo hasta del 50% en la proteína de la dieta de *Paralichthys olivaceus* sin reducir el crecimiento, resultando 50% menos fosfato que en el grupo control.

Las dietas para trucha y otros salmónidos con harinas vegetales han demostrado que pueden soportar el crecimiento como las dietas normales con harina de pescado. Particularmente con salmónidos y el uso de harinas de origen vegetal, McCallum *et al.* (2000) reportaron que la harina de arvejon puede utilizarse como fuente de proteína para dietas de trucha. Lee *et al.* (2005) reportaron truchas alimentadas por 3 años con una dieta, sustituyendo la harina de pescado por harina de semilla de algodón en 100% en la dieta, no afectó el crecimiento de machos y hembras, el potencial reproductivo de machos y que puede ser consumida de forma segura. Thiessen *et al.* (2004) reportaron que la substitución de harinas de pescado por harina de grano de canola sin ácido fitico, no afecto el crecimiento y que esta harina de canola puede ser utilizada en dietas comerciales. En el 2004, Serrano mostró que solo se puede sustituir hasta un 20 % la harina de pescado por harina de *Lupinus albus* en el alimento de la trucha arco iris sin efectos significativos en los rendimientos productivos o la composición de ácidos grasos. Sajjadi y Carter (2004) encontraron que la adición de fitaza a dietas de salmón

del Atlántico (*Salmo salar*), mejoró la digestibilidad de proteína cuando se adicionó ácido fitico a las dietas, un compuesto anti nutricional. Drew *et al.* (2005) reportaron que la adición de proteasa comercial mejoró la digestión de proteína de harinas de canola y arvenjón, así como la eficiencia del alimento. Hemre *et al.* (2005) reportaron que el uso de harina de soya normal y genéticamente modificada en dietas de salmón del Atlántico, no afectó el crecimiento, composición proximal del cuerpo y química de la sangre, comparando con una dieta con harina de pescado.

Asimismo, se ha demostrado que el uso de las harinas de origen vegetal tiene un efecto positivo en la utilización del P y por tanto, hay una menor cantidad de este elemento en los productos de desecho de los organismos. Por ejemplo, Bergheim y Sveier (1995) reportaron la reducción de la excreción de P en las dietas para salmónidos. Storebakken *et al.* (2000) demostraron que la sustitución de aproximadamente el 75% de harina de pescado, por concentrado de proteína de soya, no tuvo efecto en el crecimiento y disminuyó la cantidad de P. Glencross y Hawkins (2004) reportaron que el fósforo contenido en las harinas de grano de lupin (30% de sustitución por harina de pescado) fue utilizado en 100%.

La inclusión de gran cantidad de harina de pescado por proteína de plantas en dietas para salmónidos, parece ser factible, para emplear la estrategia de formulación de dietas complejas que tengan muchos ingredientes proteicos con tasas de inclusión bajas. Para tener éxito, esta estrategia requiere de disponibilidad de las fuentes de proteínas de las plantas, con alta densidad de nutrientes y bajos niveles de factores anti nutricionales (Murray, 2004).

La soya tiene un potencial indudable como una fuente alternativa de proteínas en alimentos para peces (Burrells, 2001).



Diversos estudios han reportado la importancia de la soya en las dietas para organismos acuáticos. (Fabero 1998) demostró que las dietas con semillas de leguminosas (soya, frijol, algarrobo), debidamente procesadas, son adecuadas para la formulación de las dietas de Tilapia del Nilo Occidental, siendo también su uso para una inclusión importante de harina de pescado por harina de estas leguminosas, lo cual reduciría costos de alimentación y, por lo tanto, en la producción de los peces. Wu, et al (1995), incorporaron a las dietas de tilapia, harina de gluten con 32 y 36% de proteína de maíz y de soya, con y sin harina de pescado, y lecitina de soya, encontraron que las dietas que contienen harina de gluten de maíz tuvieron una ganancia en peso mayor, al igual que mayor tasa de eficiencia proteica y mejor o igual tasa de conversión de alimento que las dietas que contienen harina de pescado.

Pouomogne (1998) determinó que el uso hojas de cacao, como sustituto parcial de los ingredientes más caros en las dietas de tilapias juveniles, es viable si se sustituye hasta en 20% de harina de pescado; ya que no afecta el crecimiento, el consumo de la dieta y la tasa de retención de nutrientes.

Tacon (1983). El uso de dietas que replacen la harina de pescado por lombrices, en trucha arcoiris, encontraron que las truchas alimentadas con inclusión del 50% de *A. Zonga* y *L. terrestris*, crecieron tan bien o mejor que los peces alimentados con la dieta comercial (pellets) de la trucha.

Garduño- Lugo et al., (2008.), demostraron que el reemplazo de proteína de la harina de pescado, con harina de hojas de mani (*Arachis hypogaea*), en dietas para tilapias macho, puede sustituir la harina de pescado, hasta el 20% de la proteína cruda, sin un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento.

Recientemente, en nuestro laboratorio, se determinó que la inclusión máxima de harina de pescado por harina de soya es de 75%, sin afectar el crecimiento y disminuir significativamente las descargas de fósforo y nitrógeno (Cruz, 2008).

## **5.2. USO DE *SPIRULINA SP.* EN DIETAS BALANCEADAS**

Las microalgas son alimento natural de especies acuáticas y son fuente de nutrientes para algunas especies de interés comercial. El valor nutritivo de las microalgas está relacionado con su composición bioquímica, especialmente en proteínas, lípidos y composición de ácidos grasos. Se sabe que las microalgas pueden llegar a tener hasta un 70% de proteínas del total de la materia seca y se ha determinado que en peces, los requerimientos proteicos en su dieta varían del 24 - 57 %, equivalente al 30 - 70 % del contenido energético total de la dieta en forma de proteína; así las microalgas cumplen satisfactoriamente las necesidades de especies usadas en acuicultura (Hernández, 1998).

Por sus características nutritivas *Spirulina sp* se ha utilizado como alimento de diversas especies: insectos, crustáceos, peces, ganado avícola, vacuno y porcino e inclusive el hombre, ya que tradicionalmente este recurso ha sido utilizado como suplemento alimenticio por poblaciones humanas como se observa en los moradores cercanos al Lago Chad (Atlas & Barta, 1993).

En cuanto al uso de *Spirulina* como sustituto de harina de pescado, se ha reportado por Nandeesh *et al.* (2001), que la biomasa de esta microalga puede reemplazar parcial o completamente la harina de pescado en la dieta de *Catla catla* y *Labeo rohita*. Asimismo, Palmegiano *et al* (2005) determinaron la eficiencia de inclusión de *Spirulina* en el crecimiento del esturión (*Acipenser baeri*), es decir, la *Spirulina* es buena como sustituto parcial de la harina de pescado.

Así la *Spirulina* es un buen candidato como fuente de alimentación para la trucha arco iris. La *Spirulina* es una microalga de agua dulce, clasificada como Cyanophyceae del orden Nostocales, puede crecer en colonias o individualmente y en ocasiones pueden ser manipuladas para producir alta calidad y cantidad de proteína y lípidos.

Otra posible fuente de proteína es la biomasa unicelular, particularmente la de algunas especies de microalgas. Los efectos del uso de biomasa de microalgas como ingrediente en dietas balanceadas ha sido poco estudiado: Olvera-Novoa (1998) reportaron un nivel máximo del 40% de reemplazo de harina de pescado por *Spirulina* en dietas de tilapia.

Battista (2008) reportó que la *Spirulina* puede ser utilizada hasta en 40% de inclusión de harina de pescado en dietas de juveniles del esturión.

## **6. JUSTIFICACION**

Numerosos estudios han demostrado que las harinas con fuentes de proteína alternativas a la harina de pescado en dietas comerciales, son eficientes en el crecimiento de los organismos acuáticos, de importancia comercial. Sin embargo, hasta el momento, en México existe poca información referente a este tema, siendo un importante campo de investigación y una oportunidad para la producción acuícola, impactando directamente en la conservación del recurso agua y la reducción en los costos de producción y de los alimentos.

Actualmente el cultivo comercial de trucha incluye la utilización de dietas con una alta porción de harinas de pescado, que contienen una gran cantidad de P y que debido a la pobre utilización de este elemento, es desechado al ambiente. Esto ocasiona una reducción de la calidad de agua que sale de las granjas productoras. Hasta ahora, en México no se ha contemplado el uso de dietas para la disminución de P y compuestos nitrogenados en las descargas de granjas de trucha, siendo un importante campo de investigación aplicada.

## **7. ALCANCE**

El uso de harina de pescado como fuente de proteína e ingrediente principal de dietas balanceadas de organismos acuáticos de importancia comercial empieza a generar problemas al ambiente a nivel mundial. Particularmente, el aporte de P y N a los cuerpos de agua circundantes a las granjas de producción esta causando su eutrofización, con el consecuente detrimento de la calidad del agua. Es por ello que el presente proyecto de investigación propone el uso de harinas de origen vegetal como fuente de proteína para dietas balanceadas de trucha, lo que ayudara a disminuir las descargas de P y N, sin afectar el crecimiento y estado de bienestar del organismo.

Además, el uso de dietas amigables con el ambiente no solo disminuirán las descargas de P y N, sino también podrían disminuir el precio de venta final.

## **8. HIPOTESIS**

El uso de polvo de *Spirulina* sp. tendrá un efecto positivo en el crecimiento y rendimientos productivos de los organismos, así como en la utilización del P, disminuyendo la cantidad de P y N en las heces y excreciones metabólicas.

## **9. OBJETIVOS**

### Objetivo general

Evaluar la eficacia del polvo de *Spirulina* sp. en el crecimiento de los juveniles de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentados con dietas balanceadas, y la reducción de descargas fósforo y nitrógeno en aguas residuales de cultivos.

### Objetivos particulares

- Determinar el efecto del polvo de *Spirulina* sp., en el crecimiento de juveniles de trucha arco iris.
- Evaluar el uso de polvo de *Spirulina* sp., en la composición proximal del cuerpo de juveniles de trucha arco iris.
- Analizar el efecto de las dietas con polvo de *Spirulina* sp., en la concentración de fósforo y compuestos nitrogenados en agua de desecho de juveniles de trucha arco iris.

-Determinar cual es la mejor dieta, en el crecimiento, la composición proximal del cuerpo y la concentración de compuestos nitrogenados, así como en la composición de fósforo en crías y juveniles de trucha arco iris.

## **10. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **10.1. Cultivo de *Spirulina* sp., y obtención de biomasa**

La microalga *Spirulina* sp., se produjo en el Laboratorio de Producción Acuícola (Acuario) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala usando un medio específico para *Spirulina* (Hernández, 1998).

La microalga *Spirulina* sp se siembra en botellas de plástico de 2 litros, con medio Bécquer, cada dos semanas se renovó el cultivo con nueva cepa de *Spirulina* sp., y los cultivos se continúan hasta tener cantidad suficiente de biomasa para elaboración de las dietas. Una vez conseguida la suficiente biomasa, se colectó mediante filtrado, se lavó con agua destilada se volvió a filtrar y se secó en una estufa a 500°C.

Al polvo obtenido se le realizó un análisis proximal (proteínas, lípidos, cenizas y humedad). La concentración de proteínas se realizó por la técnica de medición de proteínas sin precipitación de proteínas. Para la extracción de lípidos se utilizó la técnica reportada por Bligh y Dyer (1959).

### **10.2. Obtención de peces**

Los alevines y juveniles de trucha arcoiris con 1 y 3 meses de edad se obtuvieron de la granja trutícola Feshi, en el municipio de Amanalco, Estado de México; las cuales fueron transportadas en bolsas de plástico con aire, sobre una cama de hielo para mantener a los organismos a una temperatura aproximada de 5°C, hasta llegar a las instalaciones del laboratorio de producción acuícola de la FES Iztacala (UNAM). En las instalaciones se colocaron en tinas de 1000 L para su aclimatación con aireación

constante y temperatura ambiente durante 20 días. Durante el tiempo de alimentación a las truchas se les alimentó con alimento comercial Malta Cleyton.

### **10.3. Prueba de palatabilidad.**

La palatabilidad se define como la combinación de la atracción y la ingestión de la dieta, teniendo una gran relevancia para el desarrollo de los peces. Esto nos da una pauta de cómo la digestibilidad y la calidad de los nutrientes y la energía de alguno de los ingredientes puede que limite la entrada del alimento (Glencross, 2007).

Con la prueba de palatabilidad se puede ver si el alimento es, para los peces, aceptable o agradable para ser comido; da muestra del nivel de entrada del alimento por el organismo (Glencross, 2007).

Para la prueba de palatabilidad se tomo una muestra de tres peces, a cada uno por separado se le dio el 7% de su peso en alimento. El alimento que se probó fue una dieta con inclusión del 100% de harina de pescado por polvo de *Spirulina* sp.

Para medir su ingesta voluntaria, se alimentó a los peces a saciedad mediante distribución manual, dos veces al día: por la mañana y por la tarde. Media hora después de su alimentación, se sifoneó el fondo de los tambos en los que se encontraban los peces, lo anterior se realizó para extraer las heces fecales y el resto de la dieta que no fue consumida por los peces.

El alimento no consumido y las heces fecales, fueron separados y posteriormente secados en un horno a 60°C por 24 hr; posteriormente fueron pesados, para sacar el valor del alimento consumido.



#### 10.4. Formulación y elaboración de las dietas

La formulación de las dietas para peces en cultivo se basa en el conocimiento de las necesidades nutricionales de las distintas especies, en particular de los niveles óptimos de energía y proteína y la incorporación de los ácidos grasos y aminoácidos, así como de vitaminas y minerales (Shepherd, 1999).

Se considera que el polvo de *Spirulina* sp. tiene un contenido mínimo de proteína del 60% (Battista, 2008).

Se obtuvo el polvo de *Spirulina* sp. y previo a la formulación de la dietas, se realizó análisis proximal donde se observó el porcentaje de proteína fue de 80.98%, y el porcentaje de lípidos fue de 12.26%.

De acuerdo con los contenidos de proteína, se realizaron sustituciones parciales de la harina de pescado, de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1. Formulación de dietas para juveniles de trucha arcoiris.

Tratamientos	Ingrediente (g/Kg)		
	Harina de pescado	Polvo <i>Spirulina</i> sp.	Otros
Control	600	0	400
25% <i>Spirulina</i>	400	200	400
50% <i>Spirulina</i>	300	300	400
75% <i>Spirulina</i>	200	400	400
100% <i>Spirulina</i>	0	600	400

Todos estos ingredientes se agregaron en las cantidades necesarias, para cumplir con los requerimientos nutricionales reportados para la trucha arcoiris por el National Research Council (NCR, 1993) y Hardy (2002). Se formularon cuatro dietas balanceadas, basadas en el reemplazo parcial de harina de pescado por polvo de *Spirulina* sp., en un grado de inclusión de 25%, 50%, 75% y 100% (Tabla 2). Además se utilizó una dieta de harina de pescado como control. Las dietas se prepararan de acuerdo a Hernández (2004)

Tabla2. Formulación de las dietas con diferentes grados de inclusión.

Ingredientes (g)	Gramos de inclusión por dieta (500g)				
	25% de <i>Spirulina</i>	50% de <i>Spirulina</i>	75% de <i>Spirulina</i>	100% de <i>Spirulina</i>	Control
Harina de pescado	300	225	150	75	0
Polvo de <i>Spirulina</i> sp.	0	75	150	225	300
Aceite de pescado	25	25	25	25	25
Lecitina de soya	25	25	25	25	25
Mezcla de vit. y min.	20	20	20	20	20
Dextrina	50	50	50	50	50
Gluten	25	25	25	25	25
Celulosa	55	55	55	55	55

Los ingredientes sólidos de las dietas fueron pesados en una balanza digital y posteriormente mezclados con una batidora para cocina (Hamilton Beach Brands Inc.) por 20 minutos. Después se pesaron los ingredientes líquidos (aceite de pescado, lecitina de soya) los cuales fueron agregados poco a poco, por aproximadamente 20 minutos. Finalmente se agregó agua purificada en aproximadamente de 35% p/v y se mezcla por 20 minutos más, hasta obtener una mezcla homogénea y maleable.

Posteriormente, la masa resultante se pasa por un molino de carne (Nixtamic) con un cedazo de 0.5 mm de diámetro, hasta obtener partículas (pellets) manejables y que se mantengan compactas. El secado de los pellets en un horno seco a 60°C por 24 horas, hasta obtener un contenido de humedad menor al 10%.

El alimento seco se trituró hasta obtener partículas de tamaño adecuado para las crías de trucha arcoiris, para facilitar su consumo. Las dietas secas se guardaron en el congelador a  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta que fueron utilizadas. Cada dieta fue preparada en cantidades de 100 g para determinar el contenido de proteína cruda, lípidos, cenizas y humedad.

### **10.5. Condiciones experimentales**

En la primera etapa una vez aclimatadas las truchas, se distribuyeron aleatoriamente peces con una biomasa inicial  $1.42\pm 0.1\text{g}$  por pez, en una densidad de 20 peces por tanque, teniendo 4 repeticiones por tratamiento. En la segunda etapa se distribuyeron, aleatoriamente, peces con una biomasa inicial de  $11.55\pm 0.4\text{g}$  por pez, en una densidad de 10 peces por tanque teniendo 3 repeticiones por tratamiento.

Las pruebas de alimentación se realizaron en un sistema de recirculación, con 20 tanques en la primera etapa y en la segunda etapa 15 tanques de 100L, una bomba de 0.85 HP y un filtro mecánico - biológico. Durante el tiempo que duró cada una de las etapas de alimentación, a las truchas se les alimentó con alimento pelletizado, con sus respectivas dietas en una ración diaria del 7% de la biomasa total/ por día en cada tanque, dividida esta ración en dos comidas, la primera a las 8 de la mañana y la segunda a las 14 hrs, en condiciones de aireación constante, con un flujo de agua de 1.5L/mn, fotoperiodo natural y temperatura del agua de  $16.94\pm 0.06^{\circ}\text{C}$  en la primera etapa y  $14.75\pm 0.18^{\circ}\text{C}$  en la segunda etapa (Tabla 3 y 4).

Tabla 3. Condiciones experimentales de la fase de alimentación 1.

Condiciones experimentales	Fase de alimentación 1
Peso inicial de los peces	1.42 ± 0.1 g
Capacidad de los tanques	100 L
Número de peces por tanque	20
Réplicas del experimento	4
Temperatura del agua	16.94 ± 0.06°C
Oxígeno disuelto	6.97 ± 0.05 mg/L
PH	8.66 ± 0.03
Tamaño de la ración	7%
Periodo de alimentación	60 días

Tabla 4. Condiciones experimentales de la fase de alimentación 2.

Condiciones experimentales	Fase 2
Peso inicial de los peces	11.55±0.4g
Capacidad de los tanques	100 L
Número de peces por tanque	10
Réplicas del experimento	3
Temperatura del agua	14.75±0.18°C
Oxígeno disuelto	7.16 ± 0.06mg/L
PH	9.3± 0.06
Tamaño de la ración	7%
Periodo de alimentación	50 días.

### 10.6. Fases de alimentación

Para limpiar el tracto digestivo de las truchas, los organismos fueron sometidos a 24 horas de ayuno antes de iniciadas las pruebas de alimentación.

Las fases de alimentación (bajo condiciones de laboratorio), con las dietas experimentales, se realizaron alimentando a grupos de 20 truchas juveniles en la primera etapa por cuadruplicado. En la segunda etapa se alimentó a grupos de 10 truchas juveniles por triplicado. Asimismo, se estableció un grupo control al que se le dio una dieta con 100% harina de pescado. Los organismos se alimentaron 2 veces al día con una porción del 7 % de la biomasa total. Los juveniles se pesaron cada 10 días y el tamaño de la ración se ajustó de acuerdo al nuevo peso. Treinta minutos después de alimentados, se realizó un sifoneo de cada tanque para coleccionar el alimento remanente que, posteriormente, se utilizó para determinar el consumo de las dietas. Al mismo tiempo, se coleccionaron las heces fecales con las cuales se determinaron la cantidad de fósforo y nitrógeno que contienen.

El pellet que se elaboró no flotaba y, con el objeto de minimizar el estrés a los peces, al momento de la alimentación se optó por ofrecer manualmente el alimento, hasta la saciedad de manera controlada, evitando lo más posible las pérdidas. Por observación de la conducta de los organismos, se tomaron en cuenta indicadores visuales como fueron: poca actividad en la superficie, natación profunda, baja actividad predatoria, jugueteo con el alimento y consumo nulo, para determinar el momento en el que se suspendía la alimentación. Posteriormente se pesaba el alimento no consumido (seco), restando este dato a la cantidad ingerida para conocer el consumo de cada una de las dietas.

La colecta de las heces se realizó de forma manual, usando un sifón para evitar estresar a los organismos, se cuidó de no meter la mano en exceso. Posteriormente las heces recolectadas fueron filtradas y enjuagadas con agua destilada; las heces se mantuvieron en congelación para su posterior secado y análisis.

Durante la prueba, se determinaron el pH (pHTestr2, Oaktlon Instruments, Illinois, EUA), oxígeno disuelto y temperatura (oxímetro YSI 85, YSI Incorporated, Ohio, EUA). Las pruebas de alimentación se realizaron por un periodo estimado de 50

y 60 días como mínimo. Los últimos 10 días finales de alimentación se utilizaron para alimentar a los organismos con las dietas respectivas, añadidas con el marcador óxido de cromo, que permitió determinar la digestibilidad aparente de la dieta.

El ensayo fue de dos meses, en la primera etapa de: 4ª semana de Junio- 4ª semana de Agosto del 2008, y en la segunda etapa de: 2ª semana de Octubre - 1ª semana Diciembre del 2008 y al final del mismo, se evaluó crecimiento con los siguientes parámetros fisiológicos: ganancia en peso (GP), tasa de crecimiento específico (TCE) y tasa de eficiencia del alimento (TEA), peso inicial (PI), peso final (PF) con las formulas descritas a continuación de acuerdo a Hernández et al. (2005).

Al finalizar las pruebas de alimentación, se realizaron disecciones de aproximadamente 10 organismos, separando el sistema digestivo y algunos otros órganos (hígado, páncreas) esto para determinar el contenido proximal del músculo. Asimismo se realizó una disección de la cola, para obtener la sangre de aproximadamente 10 organismos, y analizar el suero sanguíneo.

#### **10.7. Evaluación del crecimiento (g) y determinación del Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.**

Para la evaluación de estos índices se realizaron biometrías a lo largo de cada fase de alimentación. La biometría se realizó cada 10 días, las actividades que se realizaron en la biometría fue el conteo de organismo y el peso de los organismos con una balanza digital a cada uno de los tambos. Cabe mencionar que no se realizó la medición de la talla debido a que es una especie que se estresa fácilmente. Para obtener la biomasa total de cada tanque se utilizó una red seca para capturar a los organismos, posteriormente se les colocó en un recipiente con agua y peso conocido y se obtuvo el peso corporal por la diferencia de pesos.

Para conocer el efecto de cada uno de los tratamientos sobre el crecimiento de los organismos fueron necesarias las siguientes formulas:

$$\text{Ganancia en Peso, GP} = \text{PF} - \text{PI} / \text{PI} \times 100$$

$$\text{Tasa de Crecimiento Especifico, TCE} = (\ln \text{PF} - \ln \text{Pi} / t) \times 100$$

$$\text{Tasa de Eficiencia del Alimento, TEA} = \text{GP (gr)} / \text{Total de la dieta en peso seco (gr)}$$

$$\text{Consumo de Dieta (CD)} = \text{CD(g)} = \text{total del alimento ingerido (g)/pez/día (g)}$$

$$\text{Tasa de Conversión de Alimento (TCA)} = [\text{Total de alimento ingerido (gDM)} / \text{GP, g}]$$

$$\text{Tasa de Eficiencia Proteica (ó razón de eficiencia proteica) (TEP)} = \text{TEP} = \text{GP(g)} / \text{Proteína consumida (g)}.$$

Para conocer la longitud de las truchas arcoiris se determinó, a partir de la aplicación de la ecuación  $P_t = 0.0169 L_t^{2.8393}$ , donde  $P_t$  es el peso conocido de los juveniles de trucha arcoiris y  $L_t$ =Longitud (sin conocer) de los organismos (Saucedo, 2006).

Para evaluar los Coeficientes de Digestibilidad Aparentes (CDA) de las proteínas, se utilizó el método indirecto reportado por Furukawa y Tsukahara en 1996 ([www.fao.org](http://www.fao.org)), para lo cual a las dietas se les adicionó el 1% del marcador inerte de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Con este fin los organismos fueron alimentados de manera normal durante 10 días y 30 minutos después de su alimentación se colectaron las heces de forma manual, posteriormente se hace la determinación del contenido de cromo por medio de una digestión con ácido. La digestibilidad se calculó con la fórmula:

$$\text{CDA(\%)} = 100 - [(\% \text{IA} / \% \text{IH}) * (\% \text{NH} / \% \text{NA}) * 100]$$

Donde:

CDA= Coeficiente de Digestibilidad Aparente;

IA= Indicador en el Alimento;

IH= Indicador en las Heces:

NH= Nutrimento en Heces, y

NA= Nutrimento en el Alimento.

### **10.8. Determinación del consumo de oxígeno y la excreción de fósforo y nitrógeno**

Se determinó la excreción de fósforo en forma de fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) y nitrógeno en forma de ( $\text{N-NH}_4$ ), para lo cual al azar, se separaron aproximadamente 10 organismos por tratamiento (después de haber sido alimentados y en un periodo de ayuno de 24 horas), cada organismo fue colocado en una cámara respirométrica, la cual constó de frascos de vidrio, conectados en serie con capacidad de un litro y por los cuales se hizo pasar un flujo de agua fría hasta llenar todos los frascos, se metió en cada frasco un juvenil de trucha y se selló el frasco herméticamente, se dejó ahí durante 40 minutos, después de transcurrido el tiempo se tomaron 50 ml de muestra de agua por cámara, esto para medir la concentración de nitrógeno amoniacal, excreción de fósforo (con ayuda del espectrofotómetro Hach DR-2000); y el oxígeno (con la ayuda de un oxímetro YSI 85-10-FT), estas mediciones fueron tomadas antes y después de los 40 minutos de la prueba, para poder evaluar el consumo de oxígeno de las truchas. Las muestras se procesarán de acuerdo a las técnicas de Nessler (método 8083, reactivos Hach, Hach Co., Colorado, EUA) y de molibdovanato (método 8114, reactivos Hach, Hach Co., Colorado USA) para  $\text{N-NH}_4$  y  $\text{PO}_4$  (ortofosfatos), respectivamente. Para la determinación de estos parámetros, se utilizó un espectrofotómetro (modelo DR 2800, Hach Co., Colorado, EUA). Las heces fecales se procesarán de acuerdo a la técnica de digestión con persulfato en un reactor DRB 200 (método 8190, reactivos Hach, HachCo., Colorado, USA).



## **10.9. Análisis proximales y bioquímicos**

El contenido de proteína en las dietas y cuerpo de los organismos, se determinó con un equipo Kjeltex 2100. El contenido de lípidos se realizó con la técnica reportada por Blight y Dyer (1959) o por extracción con equipo Soxhlet. El contenido de humedad y cenizas se determinó con las técnicas reportadas por la AOAC (1990).

### **10.9.1. Medición de proteínas sin precipitación de proteínas**

Se prepararon los tubos estándar para dilución de 400 µg/ml solución de proteína estándar en agua con un volumen de 1.0 ml en tubos apropiadamente etiquetados para las pruebas. Se etiquetó el tubo blanco y las 5 muestra blanco con concentración de proteína estándar conocida y se adicionó 1.0 ml de agua. Al mismo tiempo se adicionó la muestra a los tubos para la prueba y se diluyó con 1.0 ml de agua. Posteriormente se adicionó 1.0 ml de solución del reactivo de Lowry a la solución estándar, blanco y los tubos con las muestras, todo esto se mezcló bien. Se dejaron las soluciones reposar a temperatura ambiente por 20 min. Con una rápida e inmediata mezcla, se adicionaron 0.5 ml del reactivo Folin & Ciocalteu's fenol en cada uno de los tubos. Se dejó que el color se desarrollara por 30 minutos. Se transfirió la solución a las cuvetas y midió la absorbancia de los tubos estándar y las muestras contra el blanco en una longitud de onda entre 500 y 800 nm. Posteriormente se graficó los valores de la absorbancia del estándar contra sus correspondientes concentraciones de proteína para preparar una curva de calibración. Se determinó la concentración de proteína del tubo con la muestra de la curva de calibración, multiplicando los resultados por el factor de dilución apropiado para obtener la concentración de proteínas en la muestra original.

### **10.9.2. Método de extracción de lípidos**

Para la cuantificación de lípidos totales se utilizó la técnica reportada por Bligh y Dyer (1959). A muestras de aproximadamente 0.2 g se le agregaron 1.5 ml de cloroformo y 3 ml de metanol y se homogenizó por aproximadamente 2 min. Después, se agregaron 1.5 ml de cloroformo y se homogenizó de nuevo. El homogenizado se filtró o centrifugó, para separar los restos de la muestra. Se toma el sobrenadante y posteriormente se le agregó agua destilada hasta obtener una proporción de 1:1:0.8 de cloroformo, metanol y agua, respectivamente. La mezcla se agitó vigorosamente y se dejó sin movimiento, hasta que se completa la separación en dos capas. Se colectó la capa de abajo y posteriormente se evaporó. Los lípidos se resuspendieron en cloroformo:metanol (1:1) y se transfirieron a un vial previamente pesado y la mezcla de cloroformo:metanol se evaporó con nitrógeno y el vial se pesa hasta peso constante. El porcentaje de lípidos totales se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ lípidos totales} = (\text{peso de los lípidos} / \text{peso de la muestra seca}) \times 100$$

### **10.9.3. Medición de Cenizas y Humedad.**

Para la medición de humedad se utilizaron crisoles de metal. Se pusieron a secar en el horno a 60°C y después de 5 horas, se pusieron en los desecadores hasta que se enfriaron (30 minutos) y posteriormente se pesaron. Luego, se pesó la muestra problema, 0.5 g. La muestra se colocó en el crisol y se metió al horno por aproximadamente 5 horas. Se dejó enfriar, después de ese tiempo se pesó. Posteriormente se volvió a meter al horno otra hora, se sacó, se enfrió y se volvió a pesar. La diferencia entre ambos pesajes, no fue mayor a 0.001 g. Para el caso de cenizas, se utilizaron crisoles de porcelana. El peso de la muestra es igual a 0.5 g. Se metieron los crisoles a la mufla a 500 grados por 5 horas. Después se sacaron, se

dejaron enfriar y se pesaron. Posteriormente se volvieron a meter a la mufla una hora más. Después se secaron, se dejaron enfriar y se volvieron a pesar.

La medición para proteína, lípidos y cenizas se realizó en base seca. En el caso del análisis de humedad se utilizó muestra húmeda.

Para la obtención del porcentaje de humedad y de cenizas se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de Humedad} = (1 - \text{peso después de seco} / \text{peso antes de secar}) \times 100$$

$$\% \text{ de Cenizas} = (\text{peso de la muestra en ceniza} / \text{peso muestra fresca}) \times 100$$

## **11. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.**

Los datos referentes a crecimiento, excreción de P y N, digestibilidad de la dietas y análisis proximales obtenidos a los largo de las pruebas de alimentación se analizaron con ANDEVA de una variable, de acuerdo a Durán *et al.* (2003). Las diferencias significativas entre los tratamientos se evaluaron con una prueba Post hoc de múltiples comparaciones de Tukey, considerando un error de 5% ( $P < 0.05$ ) para cada grupo de comparaciones. Las pruebas de ANDEVA y de diferencias se realizaron con el software SPSS ver. 17.

Se verificó la homoscedasticidad (semejanza de varianzas entre tratamientos) por Levene. Asimismo además de la ANDEVA se utilizó un procedimiento no paramétrico, el método de Kruskal-Wallis.

## 12. RESULTADOS

### 12.1. Cultivo de *Spirulina sp.* y obtención de biomasa

Tabla5. Resultados de los análisis proximales realizados al polvo de *Spirulina sp.*

Biomasa	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Humedad
0.5 g	80.98±5.42%	12.26±1.09%	12±0%	94.6±0.25%

La cantidad de proteínas en *Spirulina sp.* es adecuada para las dietas de juveniles de trucha arcoiris, debido a la gran cantidad de proteína que necesitan en este estado de desarrollo.

### 12.2. Prueba de palatabilidad.

Tabla 6. Resultados de la prueba de palatabilidad de la dieta con 100% de polvo de *Spirulina sp.*

Resultados de la prueba de palatabilidad	
Peso del pez	16.89±1.30 g
Porción de alimento ingerido (7%)	1.18±0.09 g
Alimento ingerido	0.36±0.07 g
Porcentaje de alimento ingerido	30.29±4.26
Porcentaje de alimento remanente	69.68±4.26
Número de organismos alimentados	15 organismos

Las dietas con diferentes grados de inclusión de harina de pescado por polvo de *Spirulina sp.*, fueron ingeridas por los organismos, no hay un rechazo absoluto hacia este tipo de alimento.

## 12.3. PRIMERA FASE DE ALIMENTACIÓN

### 12.3.1. Crecimiento y Supervivencia

Tabla 7. Peso Final (PF) (g), Ganancia en Peso (GP) (%), Tasa de Crecimiento Específico (TCE) (%), y Supervivencia (%), promedio por pez, obtenido después de 60 días de alimentación. En la Tabla se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

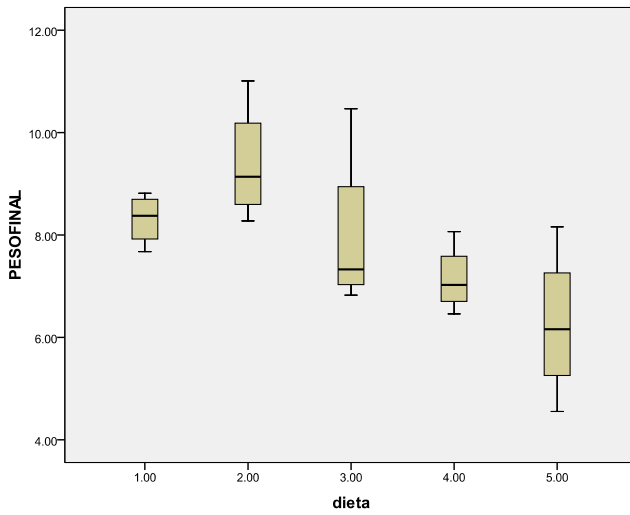
Tratamiento	PF (g/pez)	GP (%)	TCE (%/día/org)	Supervivencia (%)
Control	8.31 $\pm$ 0.25 ab	572.07 $\pm$ 29.07a	3.80 $\pm$ 0.09 a	98.75 $\pm$ 1.25 a
25% Spi	9.39 $\pm$ 0.58 a	642.41 $\pm$ 42.33 a	4.0 $\pm$ 0.11 a	97.5 $\pm$ 1.44 a
50% Spi	7.99 $\pm$ 0.84 ab	573.02 $\pm$ 73.95 a	3.78 $\pm$ 0.2 a	96.25 $\pm$ 2.39a
75% Spi	7.14 $\pm$ 0.34 ab	502.11 $\pm$ 39.88 a	3.58 $\pm$ 0.13 a	98.75 $\pm$ 1.25 a
100% Spi	6.26 $\pm$ 0.74 b	468.70 $\pm$ 67.07 a	3.43 $\pm$ 0.24 a	98.75 $\pm$ 1.25 a

En el Peso Final (PF) de juveniles de trucha arcoiris, alimentados con dietas con distintos grados de inclusión de polvo de *Spirulina* sp. se encontraron solo diferencias significativas en peso final con la dieta de 100% (F= 3.983, p=0.021).

En lo que se refiere a la Ganancia en Peso (GP) no hay diferencias significativas en ninguna dieta, con distintos grados de inclusión, al ser comparadas con la dieta control. No hay efecto negativo en el peso de los organismos con el uso de polvo de *Spirulina* sp., en el uso de dietas con diferente grado de inclusión (F=1.624; p = 0.220).

La Tasa específica de crecimiento (TCE) no existen diferencias significativas en el uso de distintos grados de inclusión de polvo de *Spirulina* sp en la tasa específica de crecimiento. El uso de polvo de *Spirulina* sp. no afecta el crecimiento de los juveniles de trucha arcoiris. (F=1.730 p=0.196).

En el caso de la supervivencia (%) no hay diferencia significativa, es decir, no existe efecto de los distintos grados de inclusión de harina de pescado por polvo de *Spirulina* sp. en la supervivencia de los organismos. (F=0.500; p=0.736).

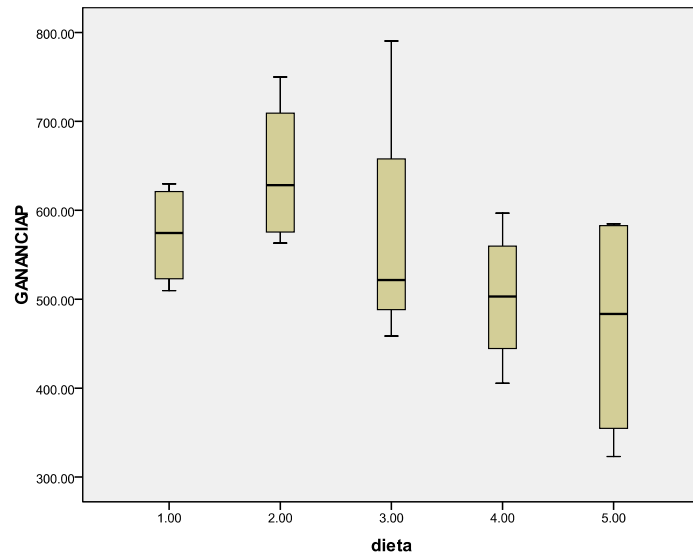


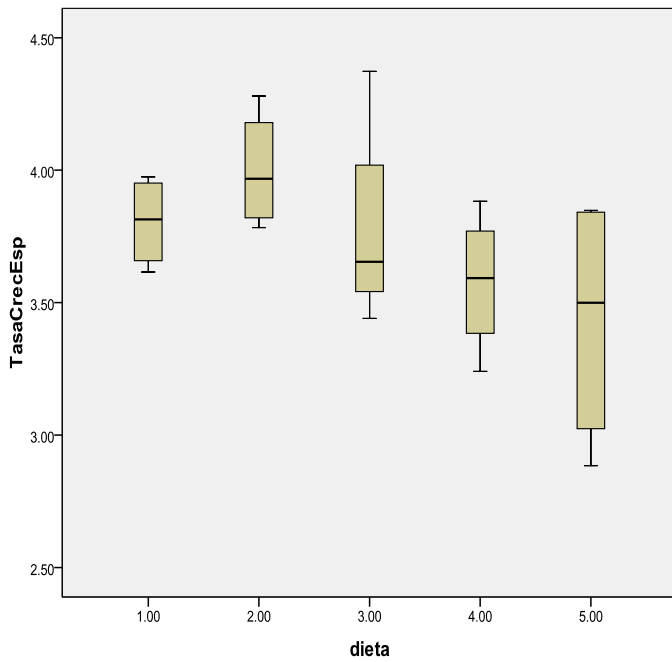
Gráfica que muestra el patrón de los datos de la distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el peso final de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la ganancia en peso de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*





El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina sp.* y la tasa de crecimiento específica de juveniles de trucha arcoiris.  
 \*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina sp.* y la sobrevivencia de los juveniles de trucha arcoiris.  
 \*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

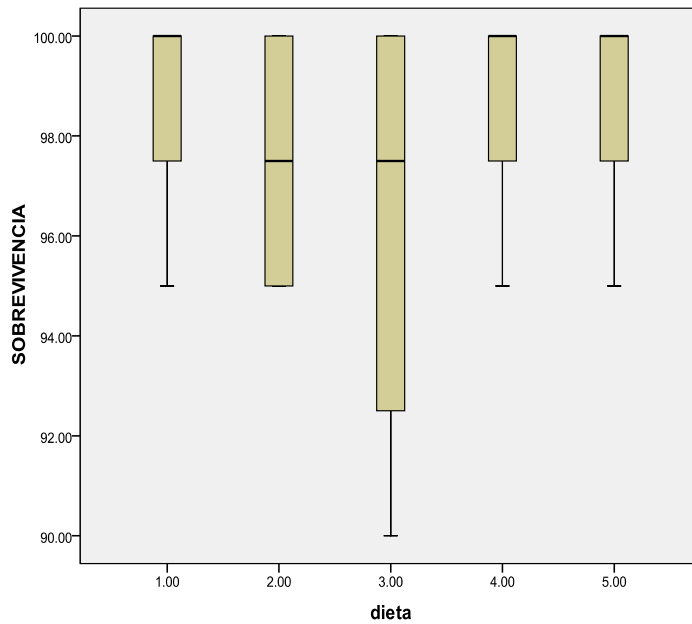


Tabla 8. Consumo de alimento (CD) (g), Tasa de Conversión de Alimento (TCA) (g), Tasa de Eficiencia de la Proteína (TEP), promedio por pez, obtenido después de 60 días de alimentación. En la Tabla se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

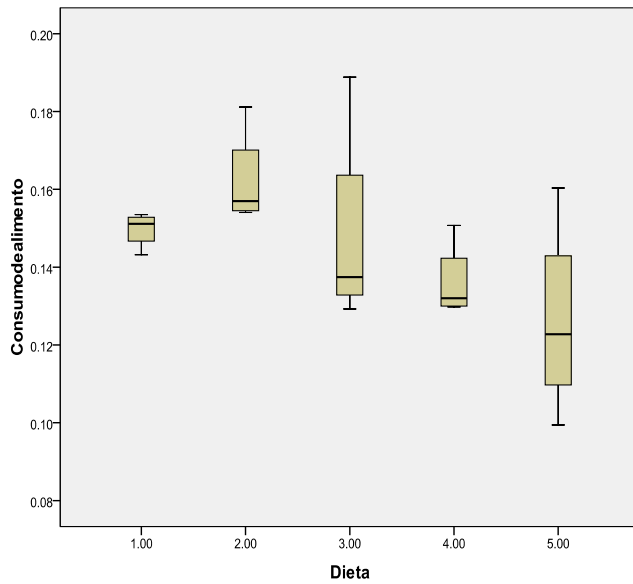
<b>Tratamiento</b>	<b>CD (g)</b>	<b>TCA (g/pez)</b>	<b>TEP (g)</b>
Control	0.15 $\pm$ 0.002 a	0.31 $\pm$ 0.01 a	48.83 $\pm$ 1.77 a
25% Spi	0.16 $\pm$ 0.006 a	0.30 $\pm$ 0.01 a	45.71 $\pm$ 1.53 a
50% Spi	0.15 $\pm$ 0.014 a	0.30 $\pm$ 0.02 a	37.79 $\pm$ 2.19 b
75% Spi	0.14 $\pm$ 0.005 a	0.33 $\pm$ 0.02 a	34.12 $\pm$ 2.10 b
100% Spi	0.13 $\pm$ 0.0133 a	0.33 $\pm$ 0.003 a	29.61 $\pm$ 3.57 b

El Consumo de Dieta (CD) mostró que no hay efecto negativo en uso de los distintos grados de inclusión de harina de pescado, por polvo de *Spirulina* sp., en el consumo de dieta (F= 2.271; p=0.110).

En el caso de la Tasa de Conversión de Alimento (TCA) no hay efecto de los distintos grados de inclusión de harina de pescado por polvo de *Spirulina* sp., en la tasa de conversión de alimentos (F= 0.486; p=0.746).

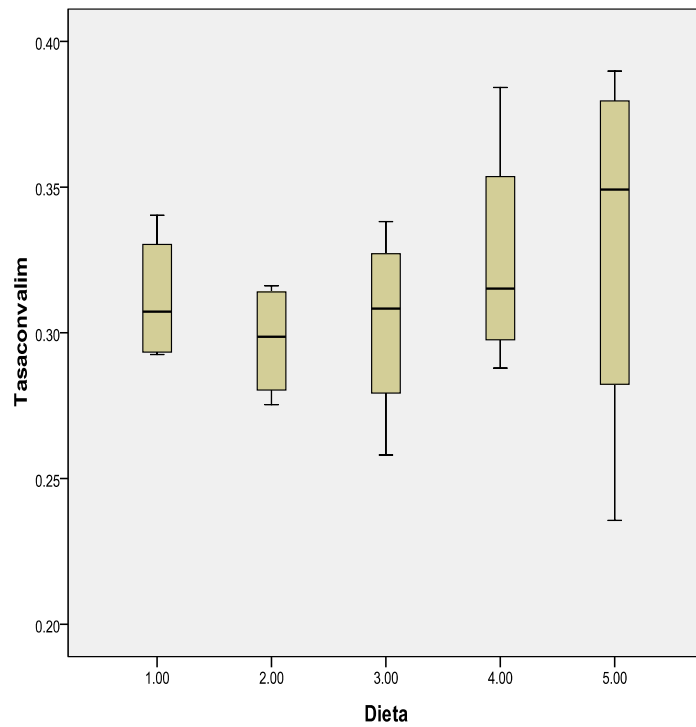
En lo que se refiere a Tasa de Eficiencia Proteica (TEP) si existe diferencia significativa entre el uso de la dieta control y con inclusión del 25% al compararlas con los demás tratamientos (F= 11.625; p=0).

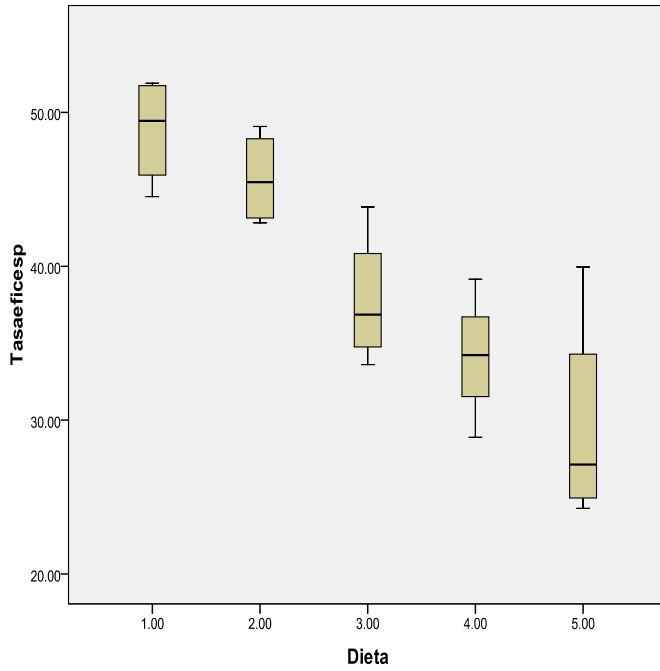




La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el consumo de dieta de juveniles de trucha arcoiris. \*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la tasa de conversión de alimento de juveniles de trucha arcoiris. \*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

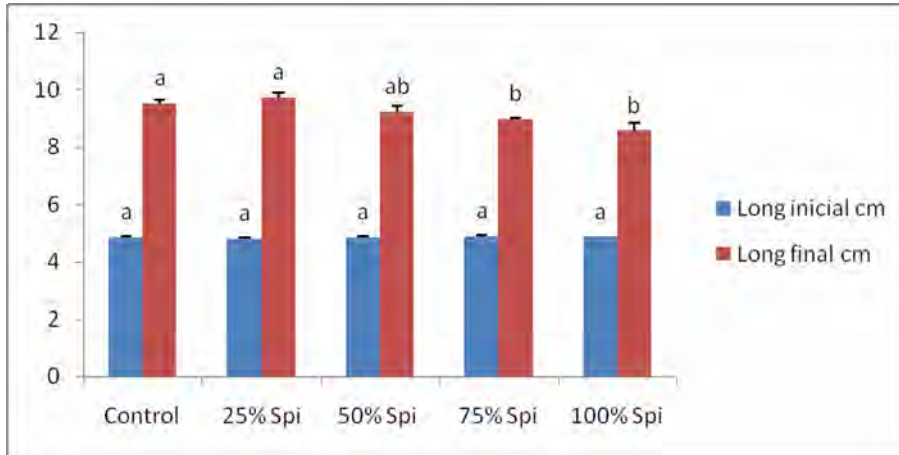




La grafica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión *Spirulina sp.* y la tasa de Eficiencia Proteica de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Longitud de los organismos.

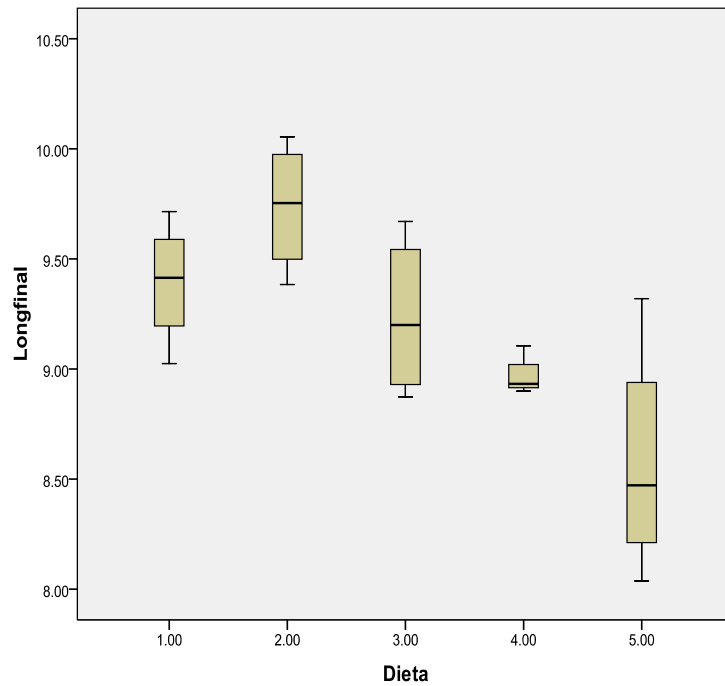


**Figura 1.** Longitud de los organismos (cm) promedio por pez. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

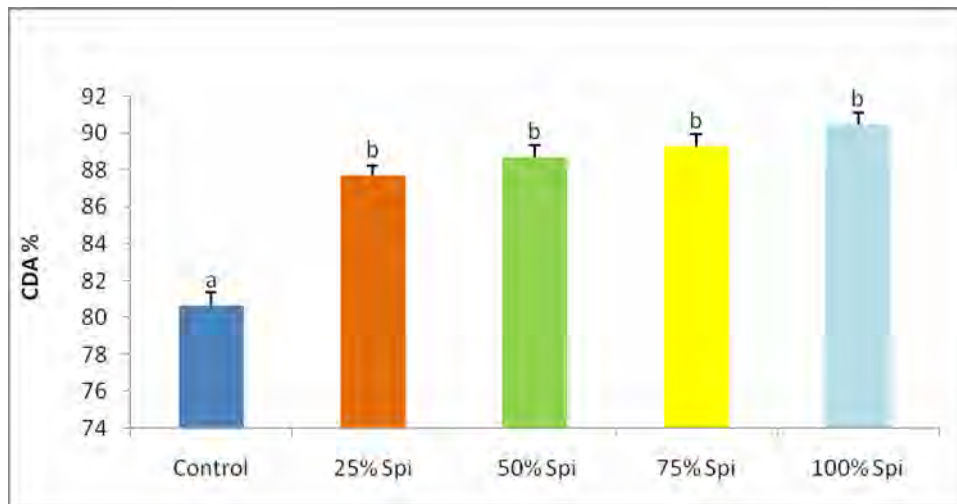
Si existe diferencia significativa entre el uso de las dietas con 75% y 100% de *Spirulina*, ya que la longitud de los organismos es menor que las dietas con menores porcentaje de inclusión ( $F= 6.296$ ;  $p=.004$ ).

El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la longitud de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

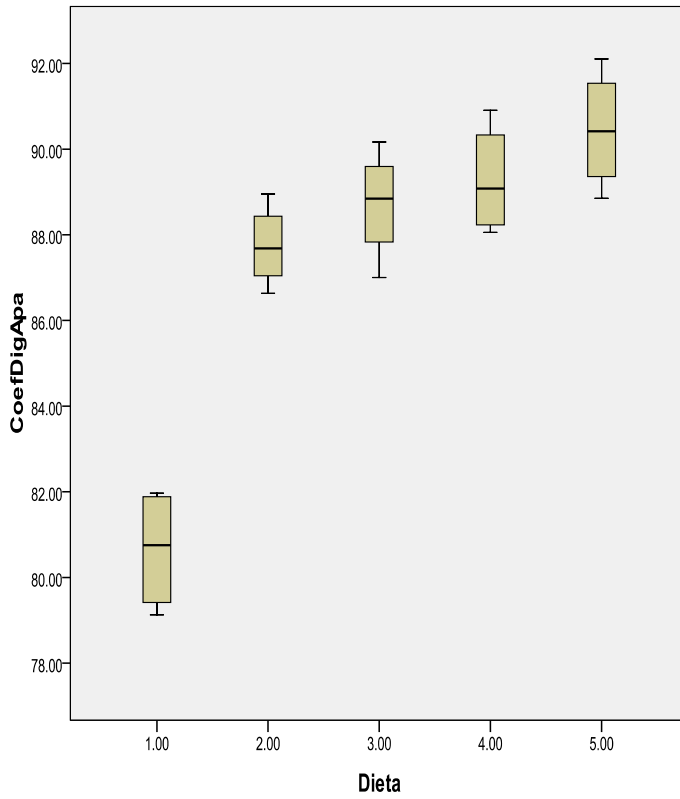


### 12.3.2.-Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína.



**Figura 2.-** Coeficiente de Digestibilidad Aparente (%). En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar

Si existe diferencia significativa entre el uso de las dietas control y las dietas con distinto porcentaje de inclusión ya que en todos los casos (25%, 59%, 75% y 100% de *Spirulina*) el Coeficiente de Digestibilidad Aumentó ( $F=35.774$ ;  $p=0$ ).

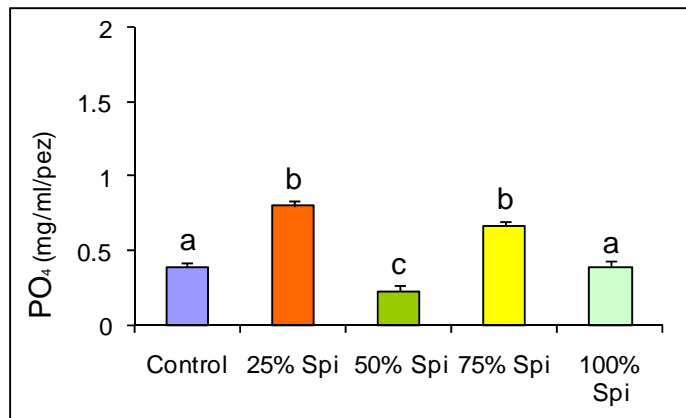


La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp., en el coeficiente de digestibilidad aparente.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

### 12.3.3.- Excreción de Fosforo y Nitrógeno

#### Excreción de fósforo

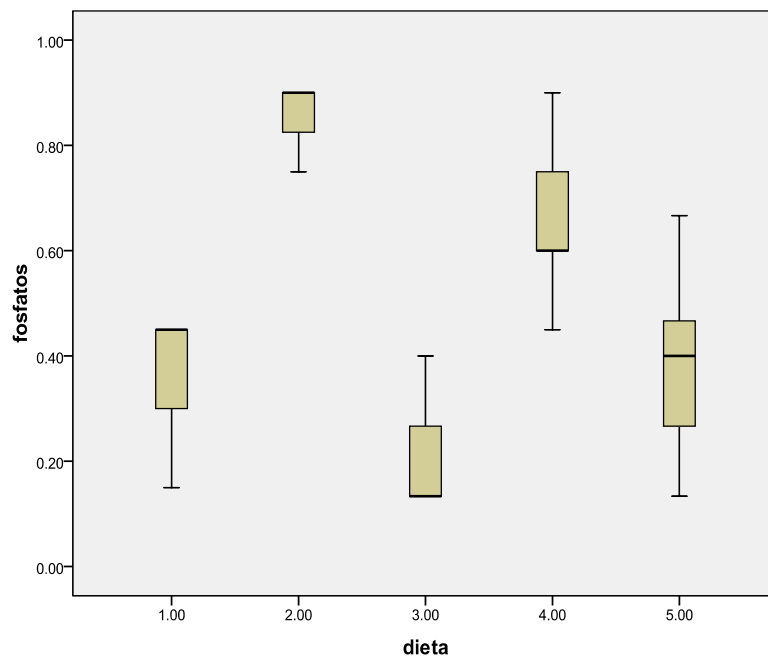


**Figura 3.-** Producción de PO<sub>4</sub>, promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar.

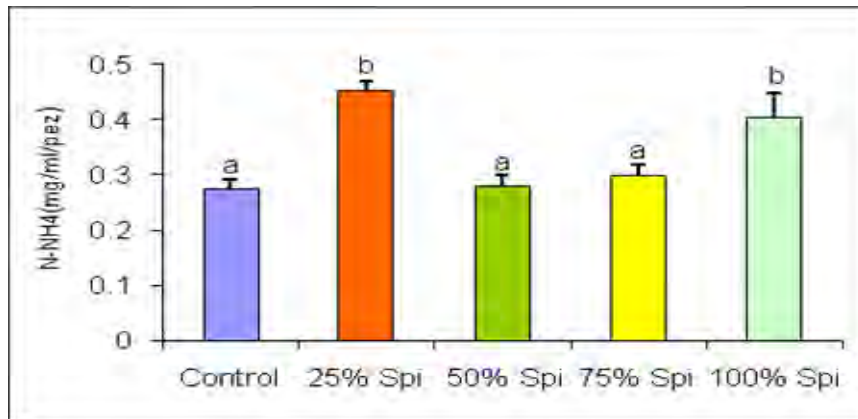
El control es significativamente diferente al de los tratamientos con distinto porcentaje de inclusión de harina de pescado por polvo de *Spirulina* sp., (F=44.518 p=0).

Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp., y la excreción de fosfatos.

\*Dieta 1: Control,  
Dieta 2: 25% de *Spirulina*,  
Dieta 3: 50% de *Spirulina*,  
Dieta 4: 75% de *Spirulina*,  
Dieta 5: 100% de *Spirulina*

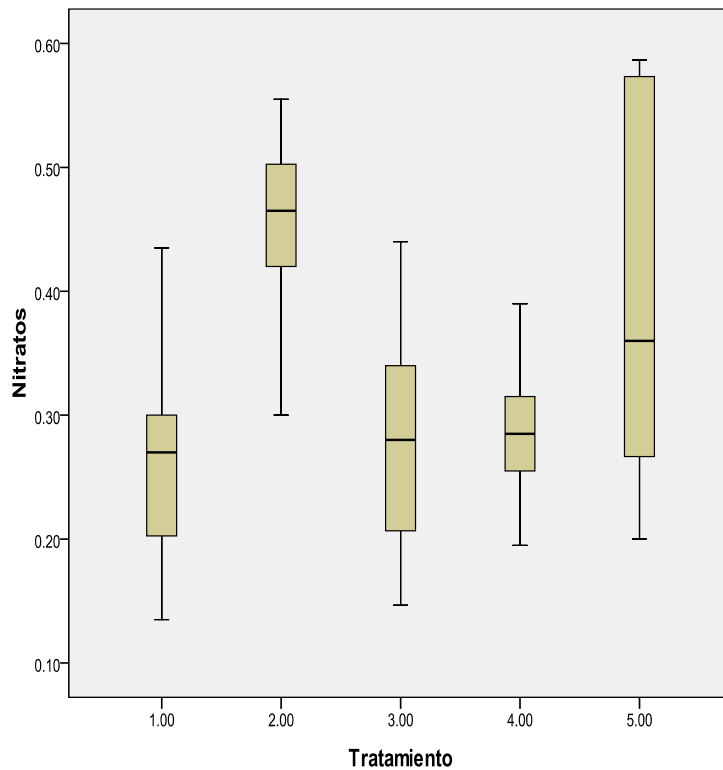


## Excreción de Nitrógeno



**Figura 4.-** Producción de N-NH<sub>4</sub> promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

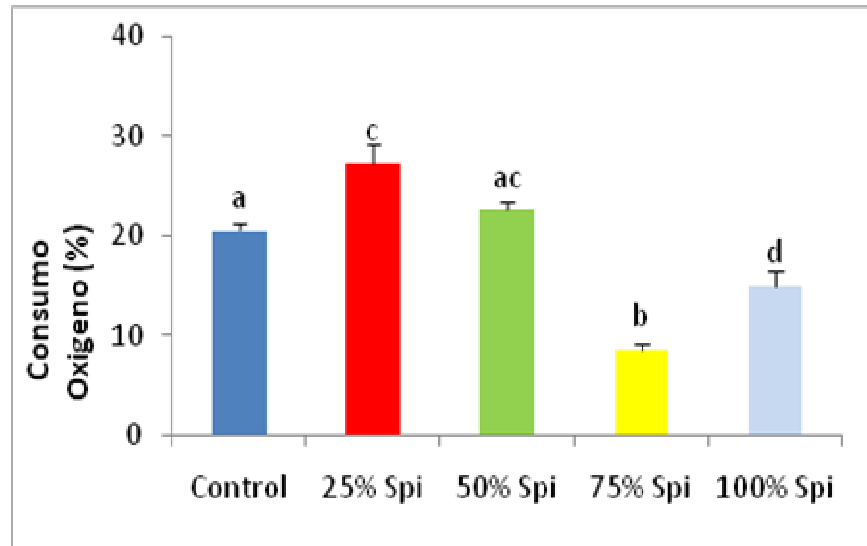
Sólo hay diferencia significativa en las dietas con 25% y 100% de inclusión de harina de pescado ya que aumentaron la concentración de (PO<sub>4</sub>), (F=13.372 p=0).



El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp., y la excreción de nitratos.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

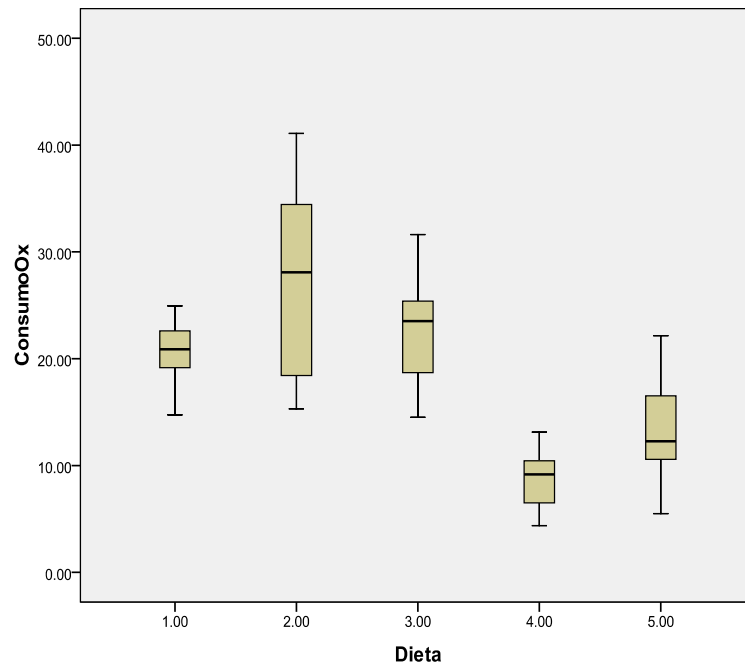
#### 12.3.4. Consumo de Oxígeno



**Figura 5.-** Consumo de O<sub>2</sub> en truchas alimentadas, después de 40 minutos en respirómetro.

Las dietas con 50%, 75% y 100% de inclusión de polvo de *Spirulina*, mostraron una disminución o el mismo consumo de oxígeno. Sin embargo la dieta con inclusión de 25% aumentó el consumo de O<sub>2</sub> (F=33.46; p=0). En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar.

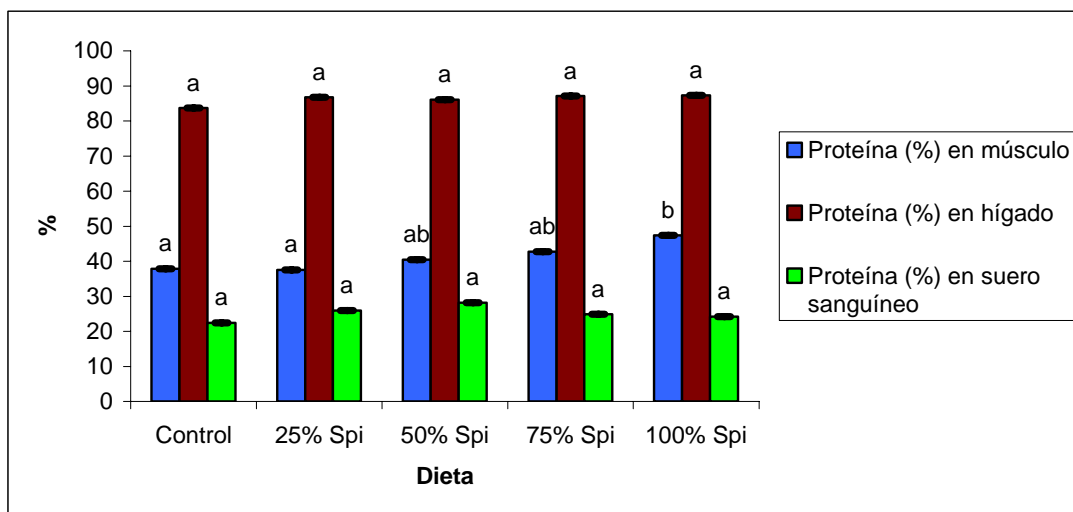




Gráfica que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp., en consumo de oxígeno de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

### 12.3.5.-Porcentaje de Proteína (músculo, hígado, suero sanguíneo).

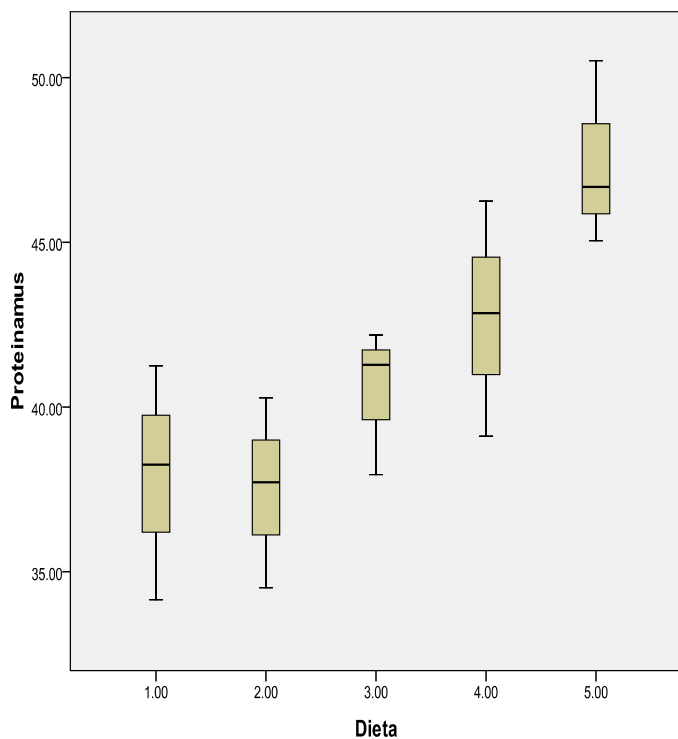


**Figura 6.-** Porcentaje de proteína en (músculo, hígado, suero sanguíneo) en truchas alimentadas, después de 60 días de alimentación. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

En el Porcentaje de Proteína en músculo si hubo diferencia significativa entre la dieta control y la dieta con inclusión del 100% de *Spirulina*, ya que esta dieta incrementó el porcentaje de proteína en músculo ( $F= 5.323$ ;  $p=0.015$ ).

En el caso de la proteína en hígado no hubo diferencia significativa entre la dieta control y las demás dietas, con los distintos porcentajes de inclusión. ( $F= 1.476$ ;  $p=0.281$ ).

En lo que se refiere al porcentaje de proteína en suero sanguíneo no hubo diferencia significativa entre la dieta control y las demás dietas, con los distintos porcentajes de inclusión ( $F= 5.929$ ;  $p=0.010$ ).

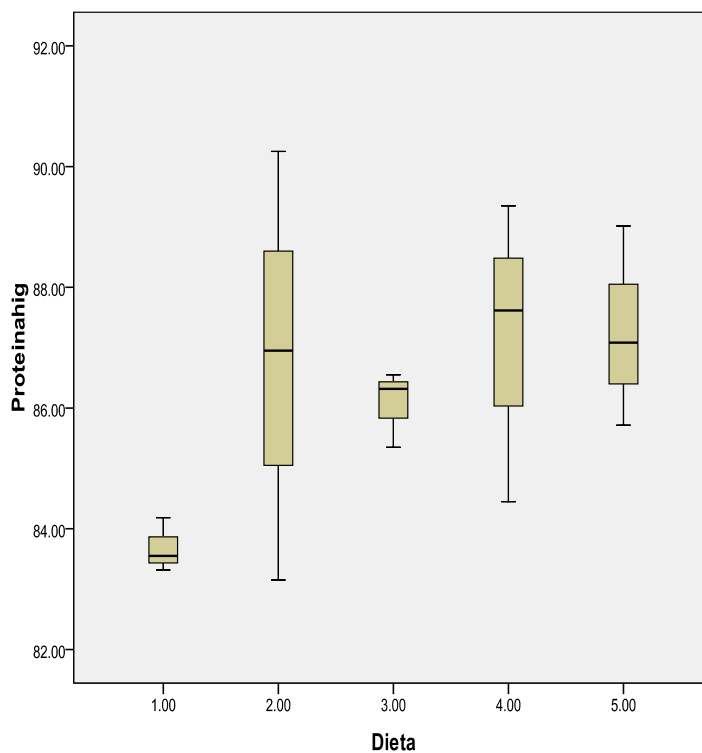


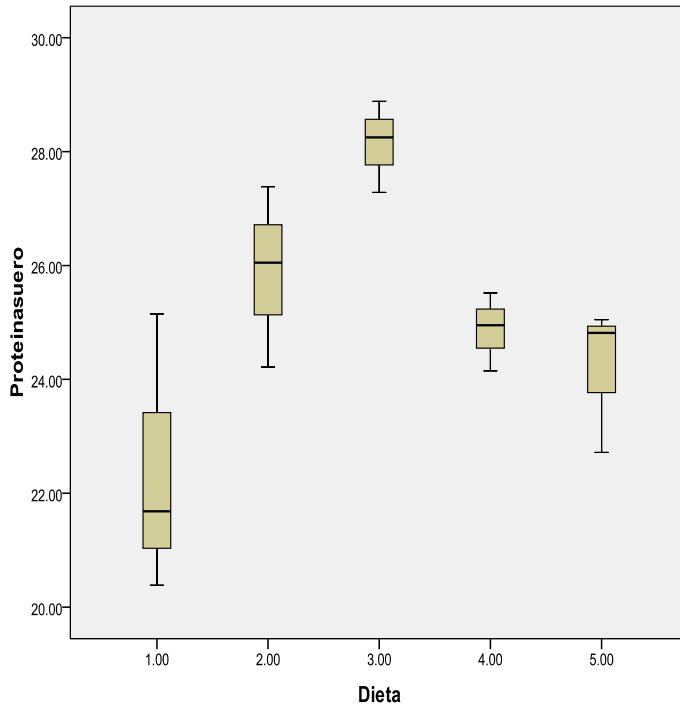
El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el porcentaje de proteína en músculo en juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el porcentaje de proteína en hígado de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



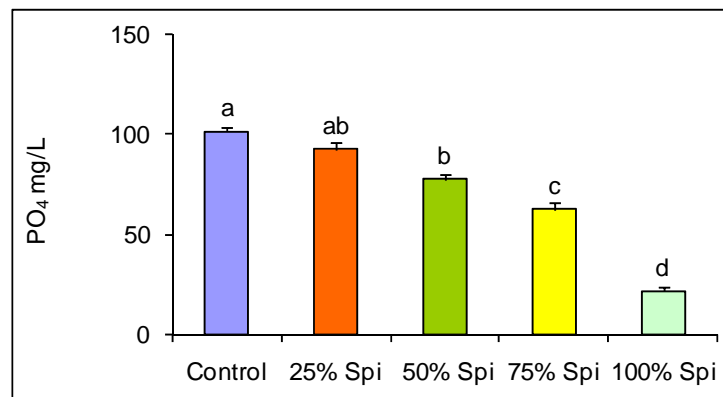


La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el porcentaje de proteína en suero sanguíneo de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5:

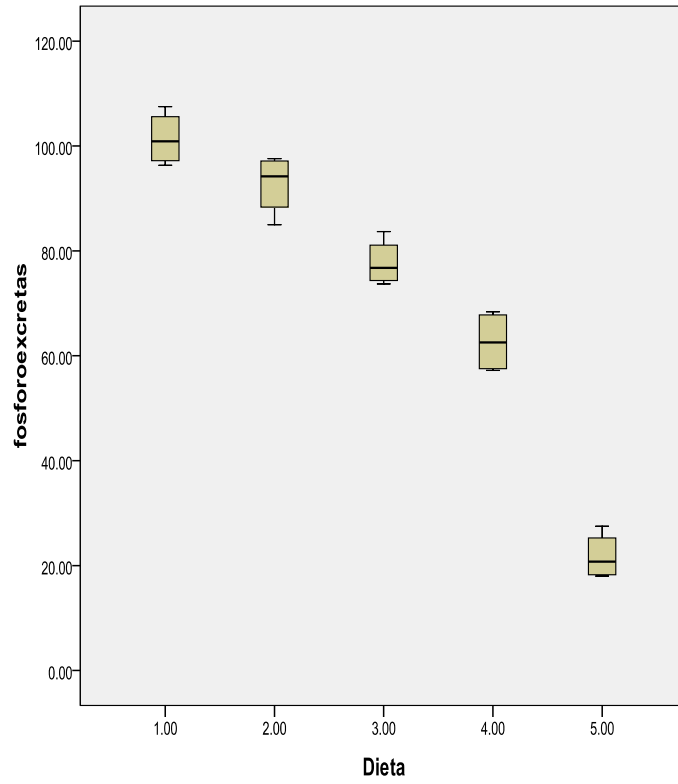
100% de *Spirulina*

### 12.3.6. Concentración de PO<sub>4</sub> en excretas



**Figura 7.-** Concentración de PO<sub>4</sub> en excretas, después de 60 días de alimentación. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar.

Conforme aumentó el porcentaje de inclusión de polvo de *Spirulina* sp., disminuyó la concentración de PO<sub>4</sub> en las excretas de los juveniles de trucha arcoiris (F=145.852 p=0).



El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp., y la cantidad de fósforo en heces fecales de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

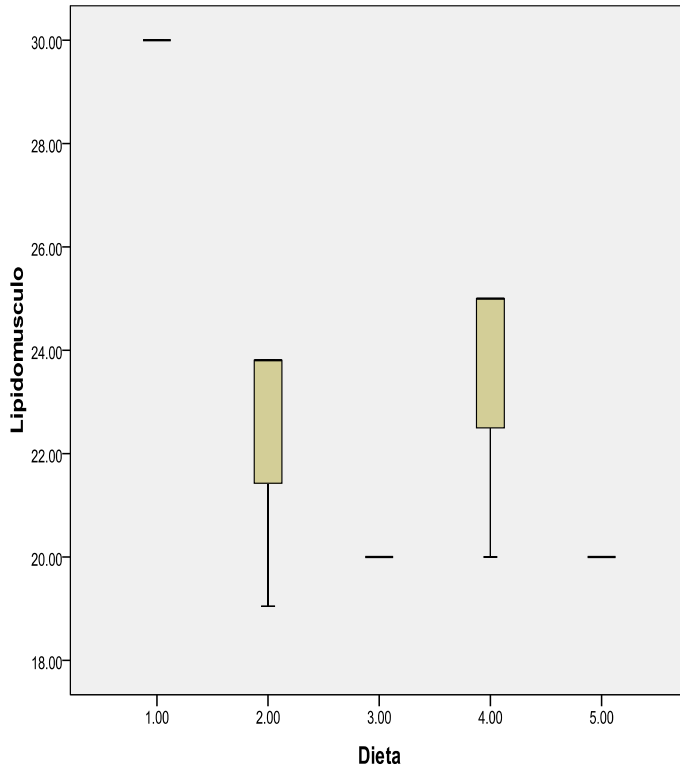
### 12.3.7. Concentración de Lípidos

Tabla 9. Concentración de lípidos (%) promedio por pez, obtenido después de 60 días de alimentación. En la Tabla se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

Tratamiento	Concentración de Lípidos (%)	
	Músculo	Hígado
Control	30 $\pm$ 0 a	30 $\pm$ 0 a
25% Spi	20 $\pm$ 0 b	22.22 $\pm$ 1.59 b
50% Spi	23.33 $\pm$ 1.66 b	20 $\pm$ 0 b
75% Spi	20 $\pm$ 0 b	23.33 $\pm$ 1.67 b
100% Spi	20 $\pm$ 0 b	20 $\pm$ 0 b

La cantidad de lípidos en músculo disminuyó significativamente en todas las dietas con distinto porcentaje de inclusión con respecto a la dieta control con 100% de harina de pescado (F=34.0; p=0).

En lo que corresponde a la cantidad de lípidos en hígado, de igual forma hubo disminución del porcentaje de lípidos en todas las dietas con diferentes porcentajes de inclusión (F=15.964; p=0).

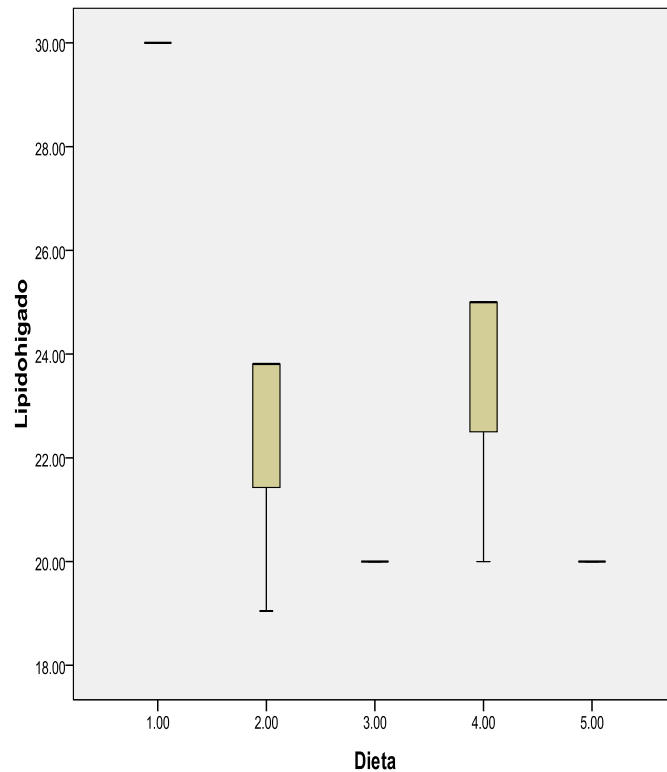


Gráfica que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la cantidad de lípidos en tejido muscular de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la cantidad de lípidos en tejido hepático de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*





## 12.4. Segunda Fase de Alimentación

### 12.4.1. Crecimiento y sobrevivencia.

Tabla 10. Peso Final (PF) (g), Ganancia en Peso (GP) (%), Tasa de Crecimiento Específico (TCE) (%), y Sobrevivencia (%), promedio por pez, obtenido después de 50 días de alimentación. En la Tabla se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

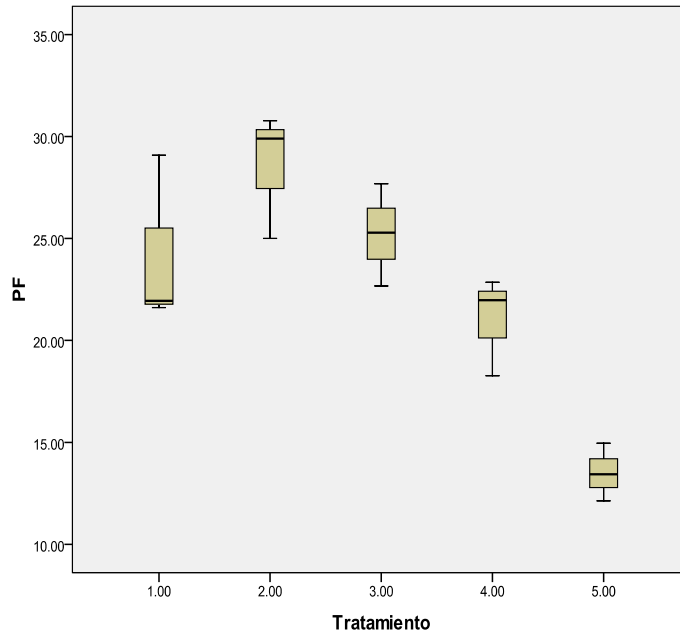
Tratamiento	PF (g/pez)	GP (%)	TCE (%/dia/org)	Sobrevivencia %
Control	24.21 $\pm$ 2.44 a	215.14 $\pm$ 1.78 a	2.30 $\pm$ 0.01 a	100 $\pm$ 0 a
25% Spi	28.56 $\pm$ 1.80 a	228.84 $\pm$ 6.16 a	2.38 $\pm$ 0.04 a	93.33 $\pm$ 3.33 a
50% Spi	25.21 $\pm$ 1.45 a	196.30 $\pm$ 20.70 ab	2.16 $\pm$ 0.14 a	90 $\pm$ 5.77 a
75% Spi	21.03 $\pm$ 1.40 ab	190.38 $\pm$ 18.71 ab	2.12 $\pm$ 0.13 ab	86.67 $\pm$ 3.33 a
100% Spi	13.51 $\pm$ 0.82 b	137.10 $\pm$ 7.45 b	1.72 $\pm$ 0.06 b	93.33 $\pm$ 3.33 a

En el Peso Final (PF) de juveniles de trucha arcoiris, alimentados con dietas con distintos porcentajes de inclusión de polvo de *Spirulina* sp (25%,50%, 75%, 100%). Solo hubo diferencia significativa en peso final con la dieta de 100%, al observarse una disminución (F=11.691; p=0.001).

Asimismo en la Ganancia en Peso (GP), solo se obtuvo diferencia significativa en la dieta con 100% de polvo de *Spirulina*, mostrando disminución en GP (F=7.023; p=0.006).

En lo que se refiere a la Tasa de Crecimiento Específico (TCE) solo hubo diferencia significativa en la dieta con 100% de inclusión de polvo de *Spirulina* (F=1.730 p=0.196).

En el caso de la Sobrevivencia (%), no hay diferencia significativa entre el uso de las dietas y la sobrevivencia de los organismos (F=1.833; p=0.199).

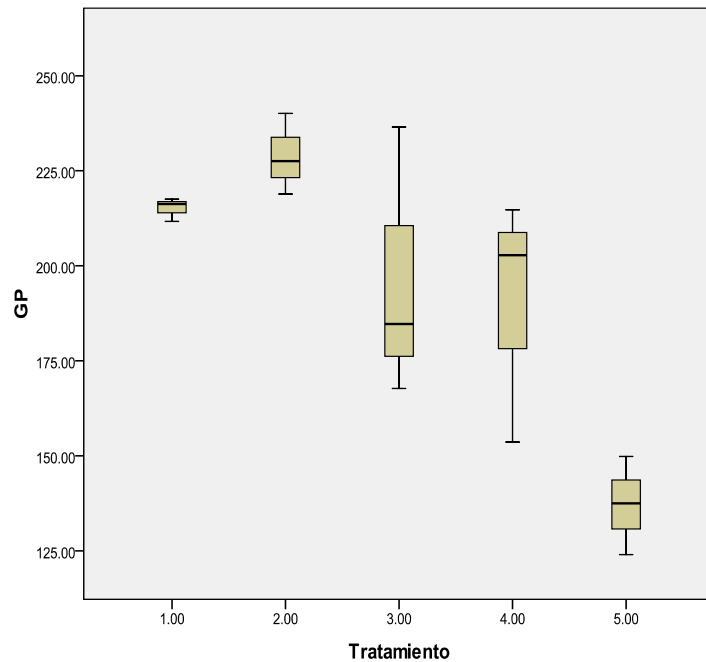


El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el peso final de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

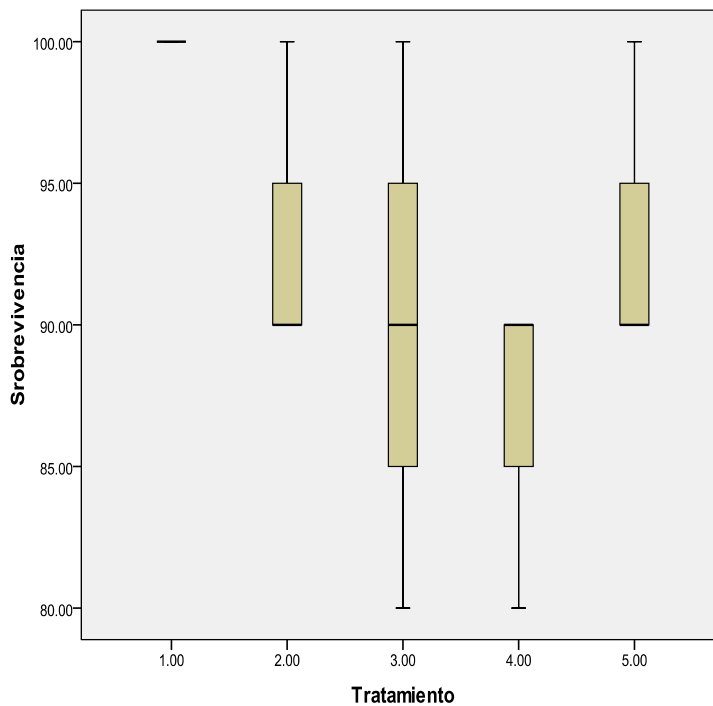
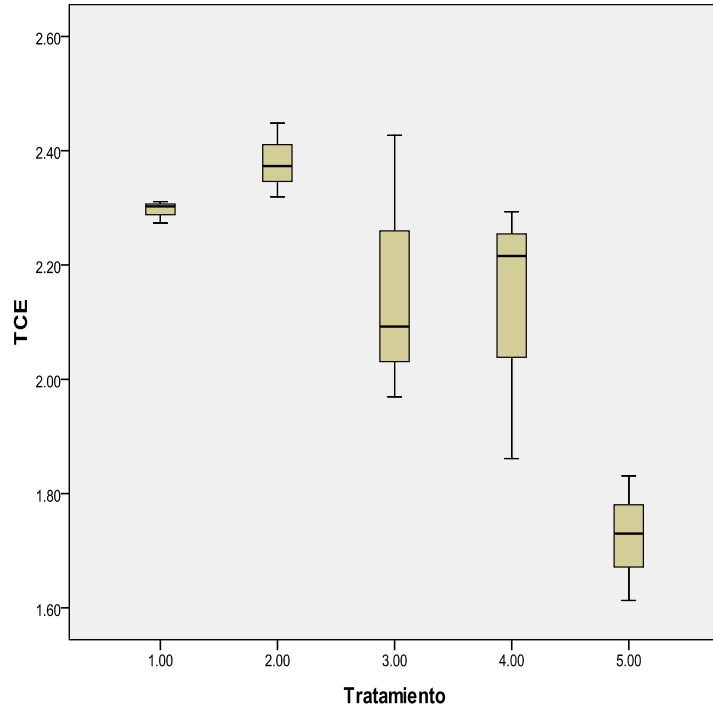
Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la ganancia en peso de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina sp.*, en la tasa de crecimiento específica de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina sp.* y la sobrevivencia de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

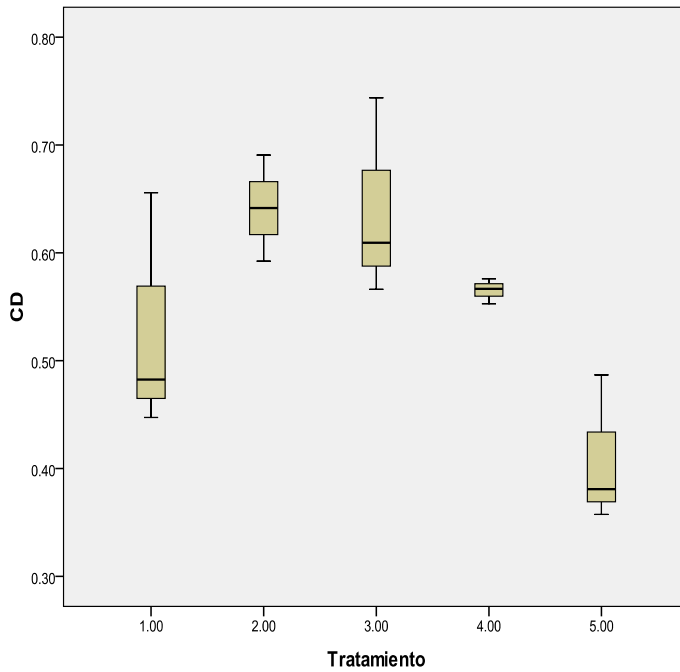
Tabla 11. Consumo de alimento (CD) (g), Tasa de Conversión de Alimento (TCA) (g), Tasa de Eficiencia de la Proteína (TEP), promedio por pez, obtenido después de 50 días de alimentación. En la Tabla se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

Tratamiento	CD (g/pez/día)	TCA (g/pez)	TEP (g)
Control	0.53 $\pm$ 0.06 a	1.23 $\pm$ 0.15 a	12.22 $\pm$ 1.35 a
25% Spi	0.64 $\pm$ 0.03 a	1.31 $\pm$ 0.08 a	9.24 $\pm$ 0.59 a
50% Spi	0.64 $\pm$ 0.05 a	1.48 $\pm$ 0.14 a	7.29 $\pm$ 0.84 a
75% Spi	0.56 $\pm$ 0.007 a	1.32 $\pm$ 0.16 a	8.33 $\pm$ 1.01 a
100% Spi	0.41 $\pm$ 0.004 a	1.39 $\pm$ 0.12 a	8.48 $\pm$ 0.71 a

El Consumo de Alimento (CD), mostró que solo hubo diferencia significativa entre las dietas y su consumo, en la dieta con el 100% de inclusión (F= 4.885; p=0.019).

En lo que se refiere a la Tasa de Conversión de Alimento (TCA), muestra que no hay diferencia significativa en los diferentes tratamientos (F=0.503; p=0.735).

La Tasa de Eficiencia Proteica (TEP), no mostró diferencia significativa entre la dieta control y las dietas con distintos porcentajes de inclusión (F=3.955; p=0.157).

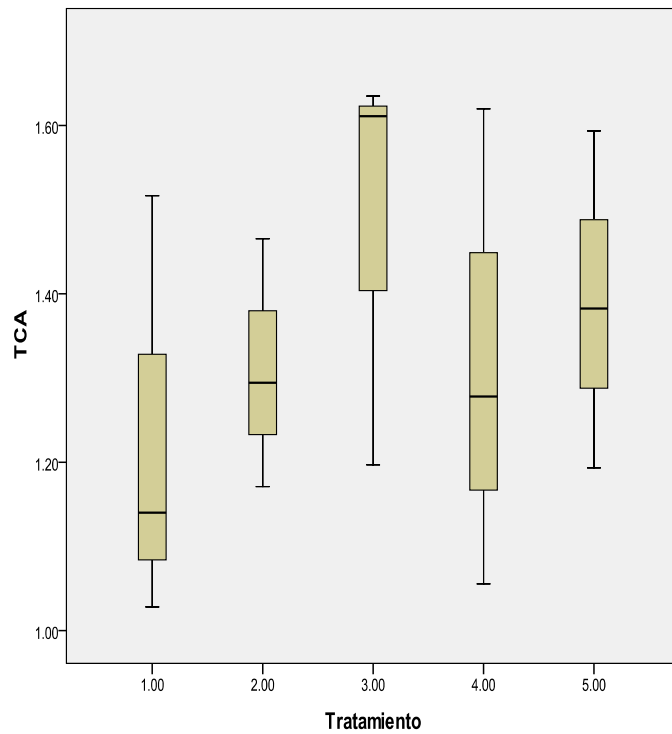


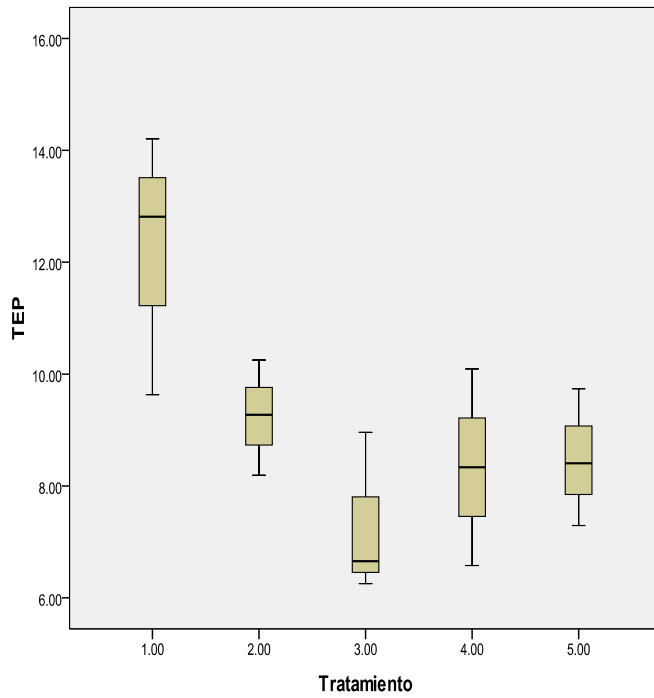
Gráfica que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el consumo de alimento de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la Tasa de Conversión de alimento de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

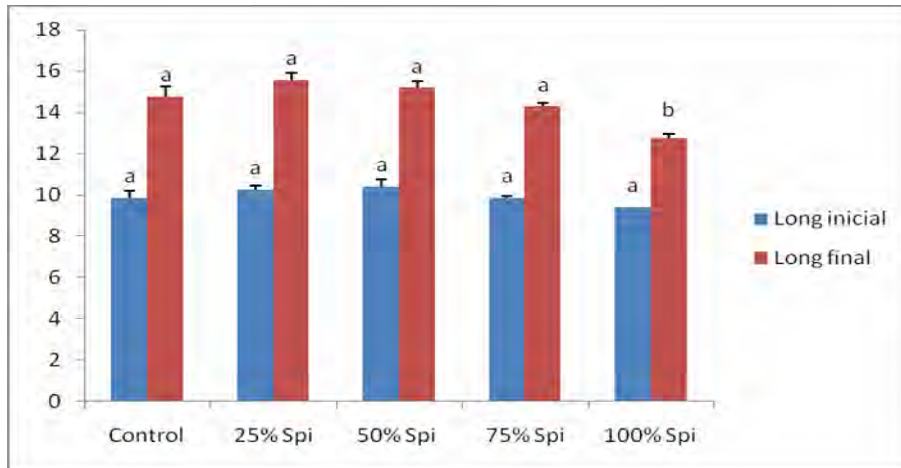




El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la Tasa de Eficiencia proteica de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Longitud

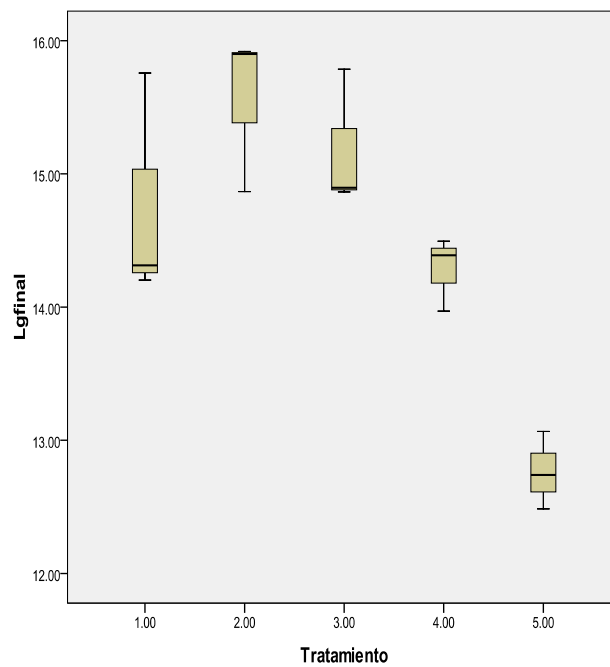


**Figura 8.-** Longitud de juveniles de trucha, antes y después de 50 días de alimentación. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

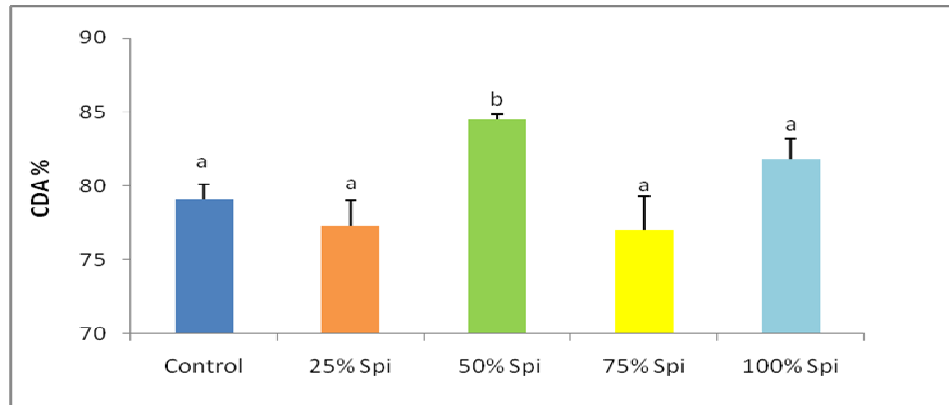
Solo hubo diferencia significativa en la dieta con el 100% de *Spirulina*, ya que la longitud de los organismos es menor ( $F= 11.414$ ;  $p=0.001$ ).

Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la longitud de los juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

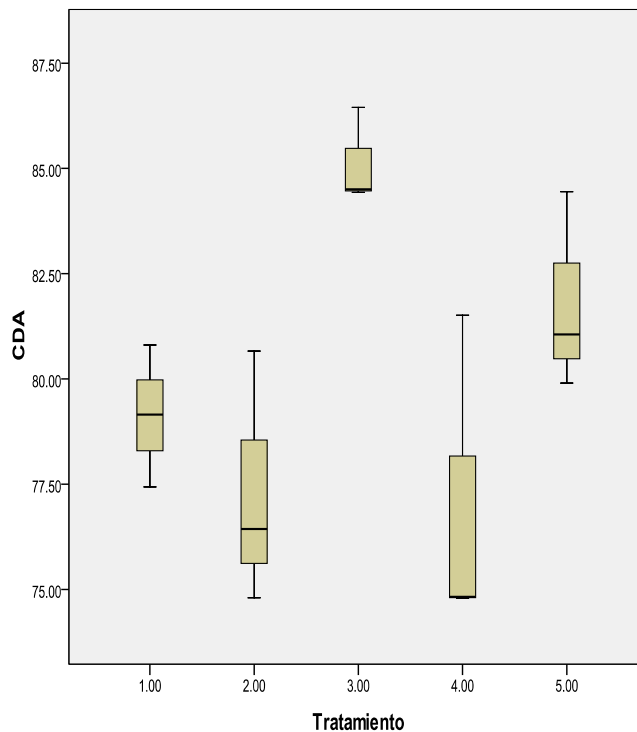


### 12.4.2. Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la proteína



**Figura 9.-** Coeficiente de Digestibilidad Aparente promedio (CDA). En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

Si existe diferencia significativa en el uso de la dieta con 50% de inclusión, ya que el coeficiente de digestibilidad incrementó ( $F=5.126$ ;  $p=0.017$ ).



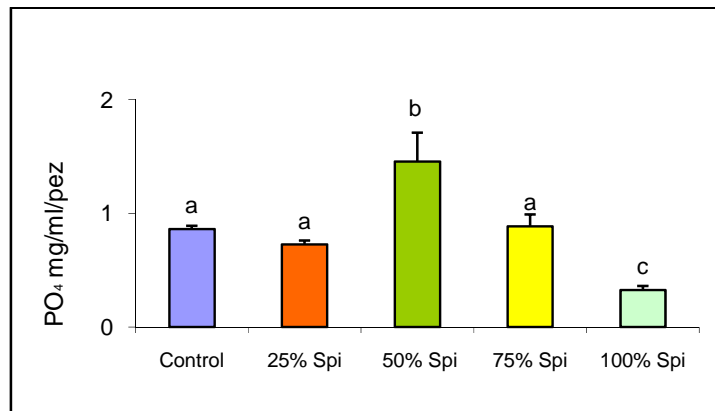
La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el Coeficiente de Digestibilidad Aparente.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



### 12.4.3. Excreción de Fósforo y Nitrógeno

#### Excreción de fósforo

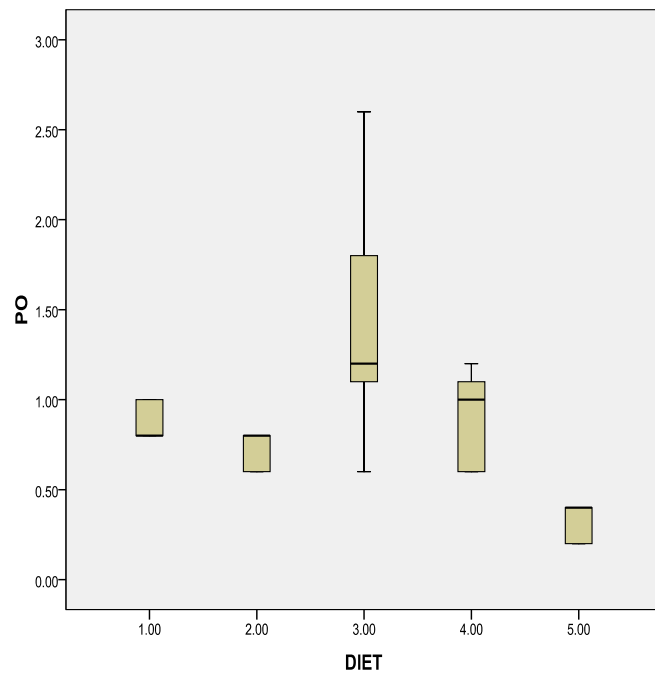


**Figura 10.-** Producción de PO<sub>4</sub> promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar.

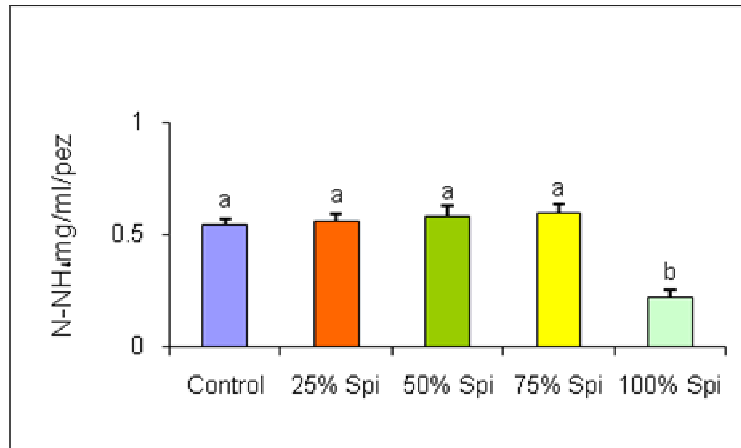
Se encontraron diferencias significativas en tratamiento con inclusión de 50% y 100%. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar (F=12.640; p=0).

El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la excreción de PO<sub>4</sub>.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*.

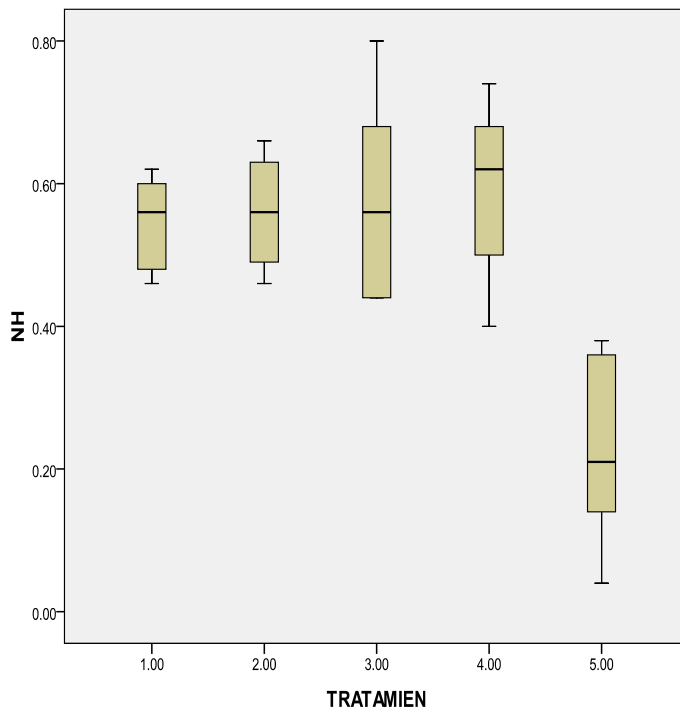


## Excreción de Nitrógeno



**Figura 11.-** Producción de N-N<sup>+</sup>H<sub>4</sub> promedio por pez después de 40 minutos en el respirómetro. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar.

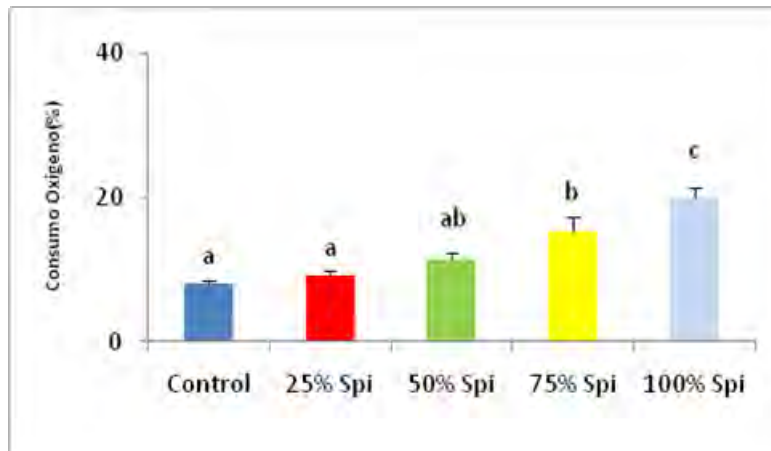
En este caso se encontró diferencia significativa en tratamiento con inclusión del 100%, al disminuir la excreción de N-N<sup>+</sup>H<sub>4</sub> (F=21.846; p=0).



La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la concentración de N-NH<sub>4</sub>.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

#### 12.4.4. Consumo de Oxígeno

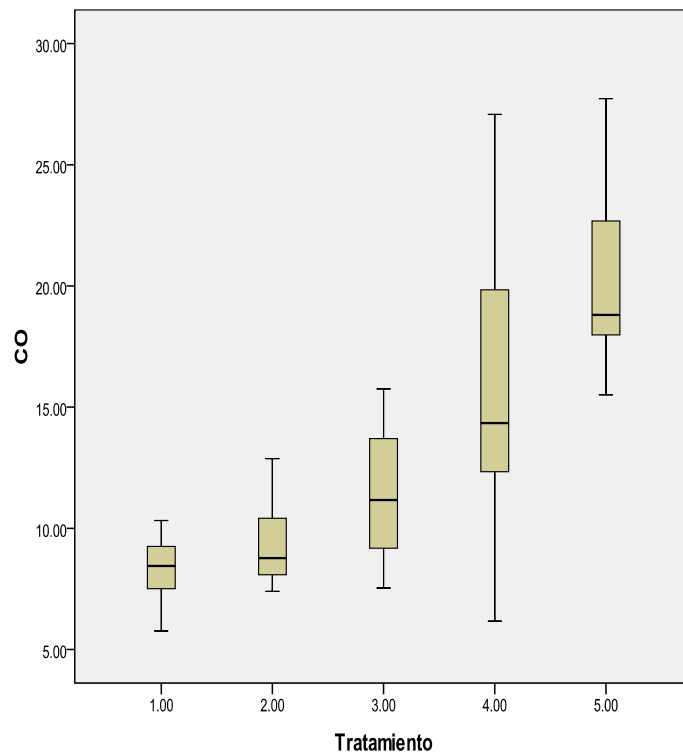


**Figura 12.-** Consumo de O<sub>2</sub> en truchas alimentadas, después de 40 minutos en respirómetro. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta ± el error estándar.

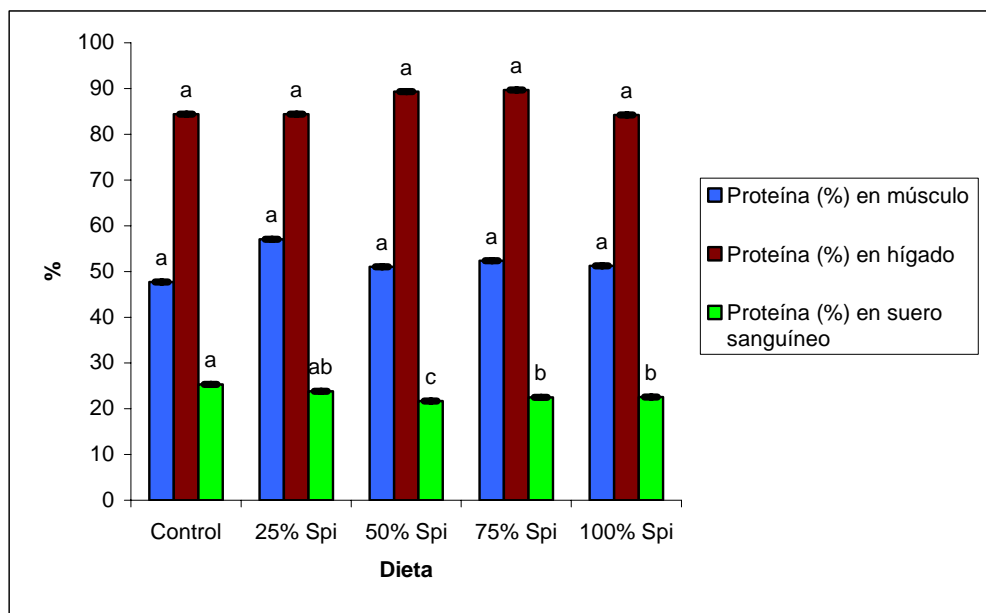
Las dietas con 75% y 100% de inclusión de harina de pescado por polvo de *Spirulina*, aumentaron el consumo de oxígeno, la dieta con inclusión de 25% y la dieta control no mostraron diferencias significativas ( $F=17.125$ ;  $p=0$ ).

El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el consumo de oxígeno de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



#### 12.4.5. Porcentaje de Proteína (músculo, hígado, suero sanguíneo)



**Figura 13.-** Porcentaje de proteína en (músculo, hígado, suero sanguíneo) en truchas, después de 50 días de alimentación. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

El porcentaje de proteína en músculo (%) no mostró diferencia significativa entre la dieta control y las dietas con diferentes grados de inclusión de harina de pescado ( $F=1.270$ ;  $p=0.344$ ).

En el caso de proteína en hígado (%) no existe diferencia significativa entre la dieta control y los demás tratamientos ( $F=3.839$ ;  $p=0.038$ ).

En lo que se refiere al porcentaje de proteína en suero sanguíneo, se encontró diferencia significativa entre la dieta control y los tratamientos con 50%, 75% y 100% de inclusión de polvo de *Spirulina* ( $F=9.576$ ;  $p=0.002$ ).

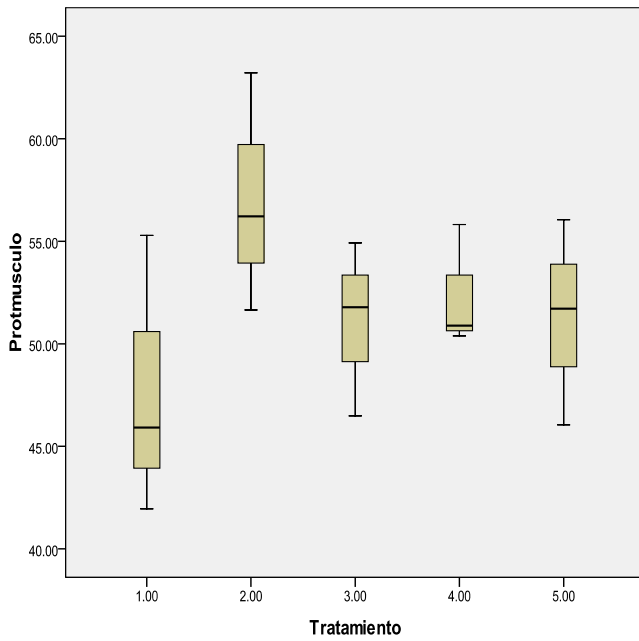
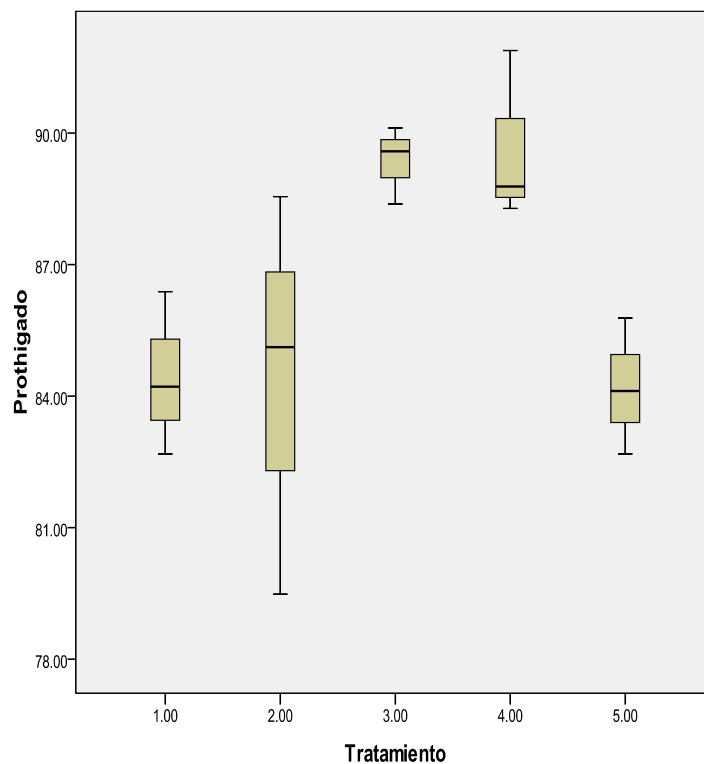


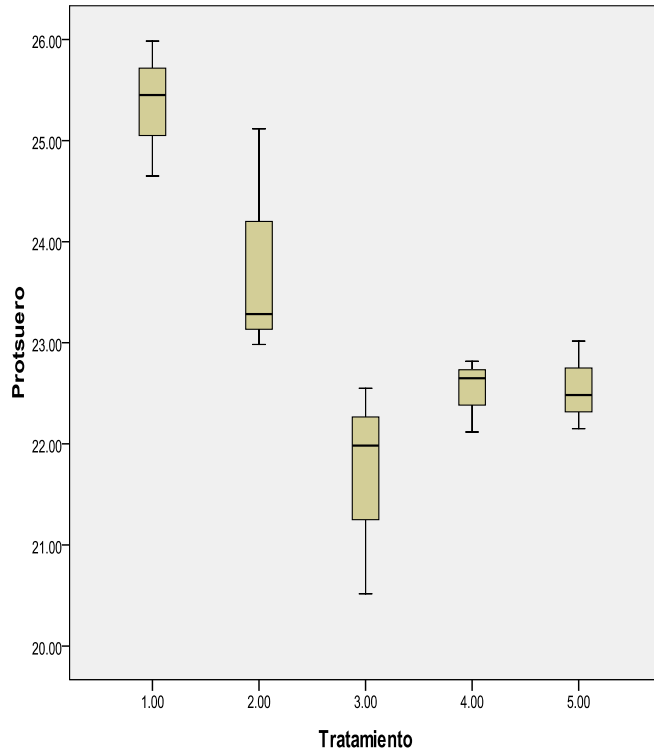
Gráfico que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el porcentaje de proteína en músculo de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el porcentaje de proteína en hígado de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

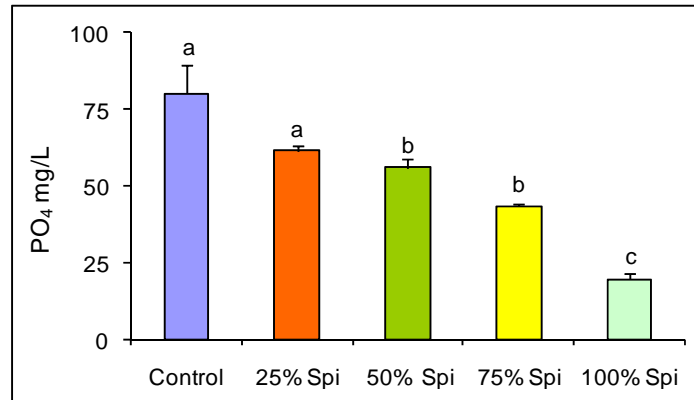




El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y el porcentaje de proteína en suero sanguíneo de juveniles de trucha arcoiris.

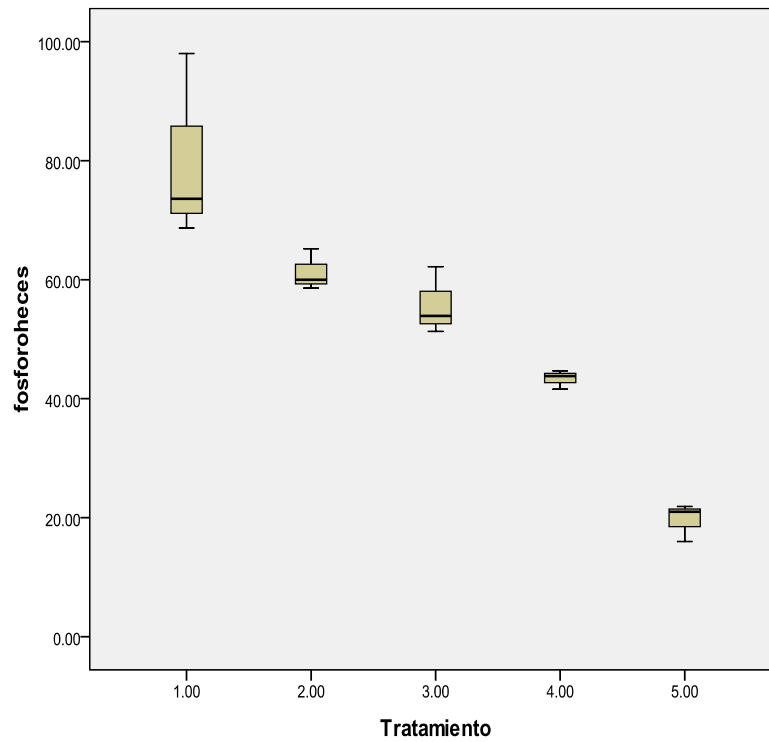
\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*.

#### 12.4.6. Excreción de (PO<sub>4</sub>) en excretas



**Figura 14.-** Excreción de fósforo en excretas, después de 40 minutos en el respirometro. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

Se encontró diferencia significativa en las dietas con inclusión del 50%, 75% y 100% de polvo de *Spirulina*, ya que con estos porcentajes de inclusión disminuyó la excreción de PO<sub>4</sub> en excretas de juveniles de trucha arcoiris. En la gráfica se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar (F=24.864; p=0).



Gráfica que muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la concentración de fósforo en heces de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



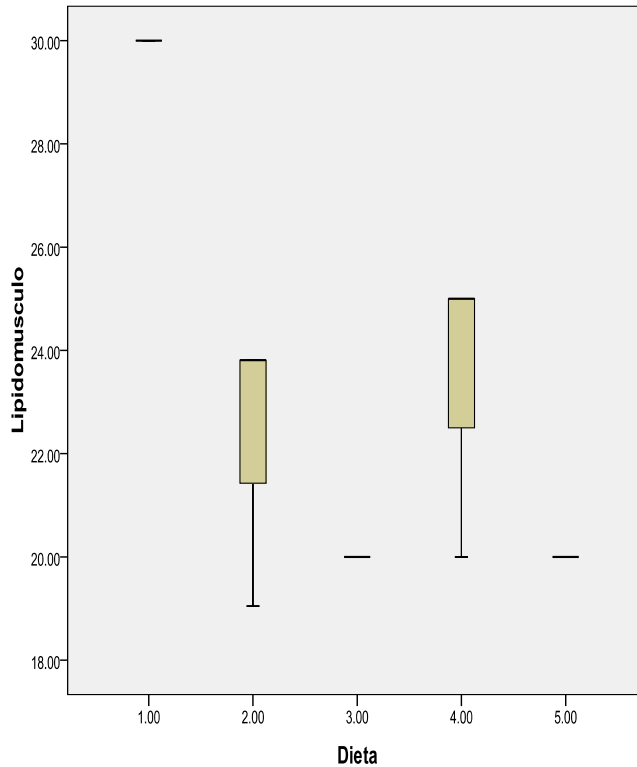
#### 12.4.7. Concentración de Lípidos

**Tabla 12.** Concentración de lípidos (%) promedio por pez, obtenido después de 50 días de alimentación. En la Tabla se muestra el valor promedio de cada dieta  $\pm$  el error estándar.

Tratamiento	Concentración de Lípidos (%)	
	Músculo	Hígado
Control	23.33 $\pm$ 1.66 a	26.66 $\pm$ 3.33 a
25% Spi	21.66 $\pm$ 1.66 a	30 $\pm$ 5.77 a
50% Spi	25 $\pm$ 2.88 a	25 $\pm$ 0 a
75% Spi	20 $\pm$ 0 a	23.33 $\pm$ 1.66 a
100% Spi	21.66 $\pm$ 1.66 a	23.33 $\pm$ 1.66 a

La cantidad de lípidos en músculo no mostró diferencias significativas en ninguna de las dietas con distinto porcentaje de inclusión, con respecto a la dieta control (F=1.083; p=0.415).

En lo que corresponde a la cantidad de lípidos en hígado, de igual forma no hubo diferencia significativa en todas las dietas con diferente porcentaje de inclusión (F=0.778; p=0.564).

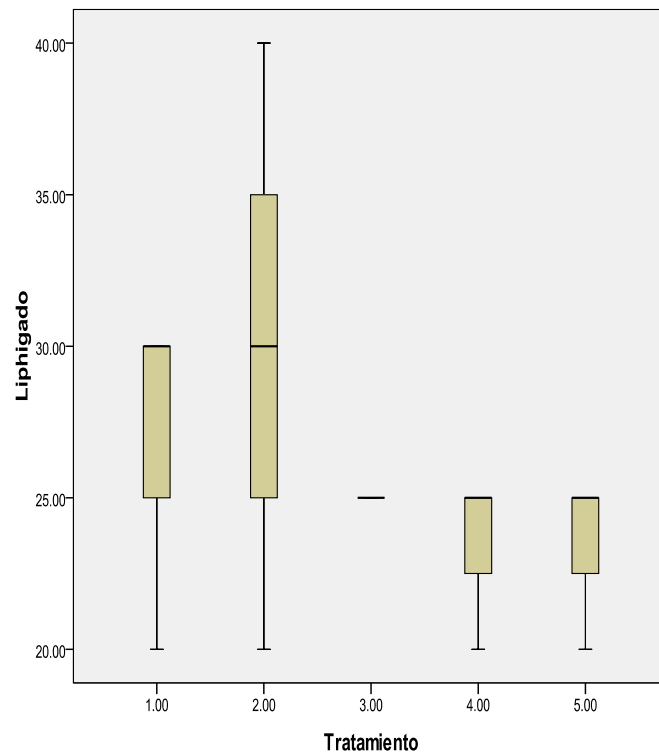


La gráfica muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la concentración de lípidos en tejido muscular de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

El gráfico muestra el patrón de los datos con distinta inclusión de *Spirulina* sp. y la concentración de lípidos en tejido hepático de juveniles de trucha arcoiris.

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



### 13. DISCUSIÓN

El uso de *Spirulina* sp como sustituto de harina de pescado, en dietas para trucha arcoiris, es bueno hasta una inclusión del 75%, debido a que no afecta el crecimiento de los organismos, y aún una inclusión mayor que cuando se utiliza harina de linaza, la cual es del 25% y 50% para carpa común (Hasan, 1997), de igual forma lo reporta Drew et al (2005) con trucha arcoiris y Tibbetts (2006) en bacalao del Atlántico.

Durante las pruebas de alimentación los organismos no mostraron disminución significativa en la sobrevivencia, en ninguna de las dietas con distintos porcentajes de inclusión. Las truchas no mostraron ningún signo de enfermedad (comportamiento, morfología, características externas), lo cual nos da una pauta de la que la *Spirulina* soporta el crecimiento y sobrevivencia de los organismos, siendo un buen sustituto de la harina de pescado.

Para el presente proyecto se, utilizaron inclusiones parciales y una total (25%, 50%, 75% y 100%), para observar si había un efecto sobre el crecimiento en las dietas con mayor porcentaje de inclusión. La harina de pescado puede ser sustituida por polvo de *Spirulina* sp. en una inclusión de hasta 75%, sin tener efectos negativos sobre el crecimiento y sobrevivencia de los juveniles de trucha arcoiris, aun si tienen distintas tallas de desarrollo.

## **Crecimiento y sobrevivencia de juveniles de trucha arcoiris**

En ambas fases del experimento, las dietas con los distintos porcentajes de inclusión de polvo de *Spirulina* sp no afectaron el crecimiento de los organismos (ganancia en peso, tasa específica de crecimiento, tasa de eficiencia del alimento), con respecto la dieta control. De la misma forma el consumo diario de la dieta y la sobrevivencia no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. En el caso del peso final de los organismos, éste disminuyó con la dieta del 100% de inclusión (Tabla 7 y 10).

El porcentaje de sobrevivencia, el consumo de dieta y la tasa de conversión de alimento no mostró diferencia entre el uso de cada uno de los tratamientos. Sin embargo, la tasa de eficiencia proteica disminuyó al aumentar el porcentaje de inclusión polvo de *Spirulina* sp.

Esto nos indica que el polvo de *Spirulina* puede ser un excelente sustituto de la harina de pescado, hasta una inclusión del 75%, ya que no afecta negativamente el crecimiento de los organismos, y su sobrevivencia (Tablas 7 y 10). El mejor de los tratamientos la dieta fue con el 25% de inclusión, debido a que aumentó el peso final, la ganancia en peso y la tasa de crecimiento específica, así como el consumo de alimentación con los otros tratamientos. Nosotros suponemos que esto puede estar relacionado con el mejor balance de aminoácidos, lograda por la buena combinación de los ingredientes como lo son la harina de pescado y el polvo de *Spirulina*.

En el caso del consumo de dieta, este fue disminuyendo conforme aumentó el porcentaje de inclusión de polvo de *Spirulina*, esto concuerda con lo reportado por Gomes *et al* (1995), quienes encontraron que al aumentar la cantidad de una mezcla de vegetales, el consumo de la dieta era ligeramente menor (Tablas 8 y 11).

En el caso de la longitud de los organismos no existen diferencias significativas en los tratamientos con inclusión de hasta el 50% de *Spirulina* (Figura 1 y 8). Sólo existen diferencias significativas en las dietas con inclusión del 75% y del 100% de *Spirulina*, esto quizás a que la cantidad de proteínas no se encuentre completamente disponible para los organismos. Esto quizá debido a que la respuesta en crecimiento, peso y longitud de los peces, se detecta dependiendo de la especie, hasta que se alcanzan tallas consideradas como juveniles (Civera, 1997).

Sin embargo, los datos de TCE en todos los tratamientos con distintos porcentajes de inclusión de polvo de *Spirulina*, fueron mayores a los reportados por Thiessen *et al.* (2004) y Gomes *et al.* (2005). Los valores reportados por Thiessen *et al.* (2004), de 1.26 a 2.5 y Cheng *et al.* (2003) de 0.99 a 1.16. (Tablas 7 y 10) son menores a los reportados en el presente trabajo.

El porcentaje de sobrevivencia y la tasa de conversión alimenticia no mostraron diferencia entre el uso de cada tratamiento. El consumo de dieta mostró diferencia significativa al ser comparada con el 100% de inclusión de *Spirulina sp.*, ya que disminuyó el consumo de la dieta. Sin embargo, los datos no muestran diferencias significativas al igual que los reportados por Thiessen *et al.* (2004) de y Cheng *et al.* (2003) de 0.99.

En el caso de la tasa de eficiencia proteica, se obtuvo diferencia significativa al usar dieta con 25% de polvo de *Spirulina sp.* (Tablas 8 y 11), ya que disminuyó con respecto al uso de los otros tratamientos y el control. Sin embargo, los datos de este trabajo son similares a los reportados por Riley *et al.* (1993), Palmegiano (2005) y Gomez *et al.* (1995). Sin embargo, son mayores a los encontrados por Hasan *et al.* (1997), y menores a los reportados por Thiessen *et al.* (2004). Los valores de TEP pueden estar relacionados con la gradual absorción de los aminoácidos, provocado por el tiempo entre comidas (Burel, 1998).

En el caso de la longitud de los organismos, no hubo diferencias significativas en los tratamientos con inclusión de hasta el 75% de *Spirulina*. Esto es un buen indicador de que las dietas con inclusión de hasta 75% de *Spirulina*, fueron satisfactorias, cumpliendo con los requerimientos nutricionales para un buen crecimiento de la trucha arcoiris, ya que la apropiada utilización de la proteína de la dieta depende de la buena calidad y el balance del perfil de aminoácidos de las proteínas (Watanaba *et al.* 2004).

### **Consumo de oxígeno y producción de N-NH<sub>4</sub> y PO<sub>4</sub>**

El Consumo de oxígeno en la primera fase de alimentación fue menor en las dietas con inclusión del 75% y 100% de *Spirulina* sp. Por otra parte la dieta en que aumentó el consumo de oxígeno fue aquella con inclusión del 25% (figura 5). En cuanto a la excreción de (PO<sub>4</sub>), si hubo diferencia entre el control y las dietas con distintos porcentajes de inclusión, siendo la mejor la dieta con 50% de inclusión de *Spirulina* sp., al mostrar una ligera disminución (figura 3). En el caso de la excreción de (N-N<sup>+</sup>H<sub>4</sub>), las dietas con 50% y 75% de inclusión de *Spirulina* sp., comparadas con el control, no se encontró diferencia, pero al utilizar las dietas con 25% y 100%, la concentración aumenta (figura 4).

Las diferencias tan marcadas en cada tratamiento, en la excreción de PO<sub>4</sub> y N-NH<sub>4</sub>, puede ser atribuido al manejo de los organismos, el cual les provocó un estrés fisiológico, el que afecta las funciones de componentes celulares (enzimas y membranas), y funciones como la respiración y osmorégulacion (Adams 1990). De igual forma, pudo haber afectado la temperatura de aclimatación, la cual tiene efecto directamente sobre la producción de N-NH<sub>4</sub> excretada por los peces privados de alimento (Thomas, 1990). Nosotros suponemos que en las crías de trucha arcoiris, la

*Spirulina* sp., tiene algún compuesto que no es digerible para las truchas en esta talla, razón por lo cual, se podría ver afectado la excreción de  $\text{PO}_4$  y  $\text{N-NH}_4$ , aumentando la excreción de estos compuestos en las aguas de desecho de estos organismos.

Por otro lado, en la segunda fase de alimentación, el consumo de oxígeno aumentó con el porcentaje de inclusión de *Spirulina* (figura 12). En lo que se refiere a la concentración de  $\text{PO}_4$ , hubo diferencia significativa al usar la dieta con 50% de *Spirulina* ya que aumentó la excreción de  $\text{PO}_4$ ; por el contrario, la dieta con 100% de *Spirulina* disminuyó la excreción de  $\text{PO}_4$  (figura 10). Las harinas de origen vegetal tienen un papel importante en las descargas de P y N. (Cheng *et al.*, 2003). Sin embargo, la excreción de  $\text{N-N}^+\text{H}_4$  sólo se diferenció en la dieta con 100% de *Spirulina*, pues disminuyó la excreción de  $\text{N-N}^+\text{H}_4$ , con respecto a los demás tratamientos (figura 11). La baja producción de  $\text{N-NH}_4$  puede estar relacionada con mayor producción de aminoácidos digeribles, ya que la cantidad de aminoácidos en las dieta puede afectar la retención del nitrógeno (Green *et al.*, 2002; Romarheim *et al.*, 2006).

Nosotros suponemos que en las tallas de juveniles de trucha arcoiris, la *Spirulina* sp., es más digerible para las truchas en esta talla, razón por lo cual, disminuyo la excreción de  $\text{PO}_4$  y  $\text{N-NH}_4$ , con la dieta de 100% de *Spirulina*. En el caso de las otras dietas suponemos que la combinación de harina de pescado y polvo de *Spirulina*, aumentan la cantidad de elementos que no son fácilmente digeribles por las truchas, causando un incremento en la excreción de  $\text{PO}_4$  y  $\text{N-NH}_4$ .

## **Digestibilidad y Concentración de fosforo en excretas**

Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de las proteínas de dietas con los distintos porcentajes de inclusión de *Spirulina*, en la primera fase de alimentación, incrementaron de manera significativa al compararlos con el control (figura 2). Los datos de estos trabajos son mayores a los reportados por Riley *et al.* (2003), el cual usó concentraciones de proteína de arroz, variando el CDA de 76.98% a 85.75%, al igual que los datos reportados con Mundheim *et al.* (2004), usando proteína vegetal en dietas para salmón.

En la segunda etapa de alimentación, los CDA de las proteínas aumentó significativamente en la dieta con 50% de *Spirulina*, los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas contra el control (figura 9). Los datos de las dietas con los distintos porcentajes de inclusión de *Spirulina* de esta segunda fase de alimentación, concuerdan con los reportados por Riley *et al.*, (2003), siendo mayores a los reportados por (Smith, 1976) de 76.8% para trucha arcoiris y a los de (Tibbetts *et al.* 2006) de 50.2-55.0 % para bacalao del Atlántico.

Glencross *et al.*, (2004) reportaron que en trucha arco iris, la digestibilidad es significativamente inferior para ingredientes con menor cantidad de proteínas y grasas. El uso de productos con proteínas vegetales en las dietas que se aplica en acuicultura es, generalmente, limitado por la proteína digestible y/o energía en los productos respectivos.

La concentración de fósforo en excretas disminuyó con el porcentaje de inclusión de *Spirulina*, debido a que hay mejor asimilación metabólica del fósforo, y por lo tanto menor cantidad en las heces fecales (Figura 7). En la segunda, la cantidad de fósforo en excretas varió dependiendo de la inclusión de *Spirulina* en las dietas, ya



que disminuyó en la dieta con 100% e incrementó en la dieta con 25% de *Spirulina* .(figura 10), es decir, cuando hay más cantidad de proteína animal.

El uso de polvo de *Spirulina*, evaluados en este estudio, muestra un claro potencial para la trucha arco iris, debido a que las dietas con hasta el 75% de *Spirulina*, no se vieron afectados por factores anti - nutricionales (Glencross *et al*; 2004).

Varios trabajos han propuesto la extrusión de harinas vegetales como una opción efectiva para mejorar la digestibilidad y la remoción de anti nutrientes, teniendo efectos sobre la composición química de nutrientes individuales, aumentando el CDA en trucha arcoiris (Abd El- Hady y Hubida; 2003; Mukhopadhyay y Ray, 2001; Gomes *et al*; 1995).

### **Cantidad de proteína en músculo, hígado y suero sanguíneo**

En la primera fase de alimentación la cantidad de proteína en músculo aumentó con el incremento de *Spirulina* en las dietas, encontrándose diferencias significativas en la dieta con 100% de *Spirulina*, ya que aumentó significativamente la cantidad de proteína. En lo que se refiere al contenido de proteína en hígado y suero sanguíneo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos, aunque hay un crecimiento ligero conforme va aumentando del porcentaje de inclusión de *Spirulina* (figura 6).

En lo que se refiere a la segunda fase de alimentación, la cantidad de proteína en músculo, no hubo diferencia significativa entre las dietas con diferente porcentaje de inclusión; sin embargo, la dieta con 25% de *Spirulina*, tuvo un ligero aumento con respecto al control. Por otro lado, la cantidad de proteína en tejido hepático no tuvo diferencia significativa entre tratamientos, aumentando en las dietas con inclusión de

25%, 50%, 75% de *Spirulina*, teniendo una ligera disminución en la dieta con 100% de inclusión. En cuanto a la cantidad de proteína en suero sanguíneo, este disminuyó en las dietas con 50%, 75% y 100% de *Spirulina*, siendo la menor cantidad de proteínas la dieta con 50% (figura 13).

En ambas fases de alimentación, los datos obtenidos del presente trabajo fueron más altos a los reportados por Pouomogne *et al.*, (1997), quienes trabajaron con harina de hoja de cacao y obtuvieron un porcentaje de proteína de 0.5%-14.2%. De igual forma, los valores reportados por Morris *et al.* (2005) fueron pequeños comparados con los reportados en el presente trabajo (18.6-19.7%).

### **Cantidad de lípidos en tejido muscular y hepático**

En la fase de alimentación uno, la cantidad de lípidos en el músculo y tejido hepático tuvo diferencia significativa entre los tratamientos con diferente porcentaje de inclusión y el control, ya que se disminuyó la cantidad de lípidos en ambos tejidos (Tabla 9).

En lo que corresponde a la segunda fase experimental, en la cantidad de lípidos en el tejido hepático, se encontró disminución en las dietas con 50%, 75% y 100% de *Spirulina*; con 25% de inclusión la cantidad de lípidos aumentó comparado con el control. En el caso de la cantidad de lípidos del tejido muscular, disminuyó en las dietas con 25%, 75% y 100% de *Spirulina*. La dieta con 25%, aumentó la cantidad de lípidos (Tabla 12).

En ambas fases de alimentación nuestros datos fueron más altos a los reportados por Pouomogne *et al.* (1997), quienes trabajaron con harina de hoja de cacao y obtuvieron un porcentaje de lípidos de 0.45% - 5.3%. Los valores reportados por

Morris *et al.* (2005), quienes trabajaron con diferentes porcentajes de inclusión de soya, fueron valores pequeños comparados con los reportados en el presente trabajo (6.4-7.1%).

La cantidad de proteína en ambos tejidos, en las dos fases de la alimentación, nos brinda información acerca de la calidad de las dietas con distintos porcentajes de inclusión, en la trucha arcoiris, ya que al mismo tiempo que soportan el crecimiento de los juveniles de trucha arcoiris no afectan la sobrevivencia de los organismos. Asimismo, la cantidad de lípidos y proteínas no disminuyen sino, por el contrario, incrementan, siendo favorable para los organismos debido a que no hay desgaste muscular ni óseo. Los lípidos en esta etapa juvenil ayudan para la maduración y la posterior etapa de reproducción de los organismos.

Muchas de las diferencias entre ambas etapas de alimentación las atribuimos al estado inicial del desarrollo de los organismos, así como a las condiciones ambientales. Se sabe que en condiciones naturales, si la temperatura aumenta, la cantidad de alimento ingerida normalmente aumenta, así como la tasa de digestión. Se sabe que comúnmente se observa un comportamiento social competitivo entre los peces mantenidos en los tanques de cultivo que redundan en tasas de crecimiento reducidas y una variación interindividual en tallas. La tasa de alimentación y la tasa de energía, disponibles para el metabolismo, explican la mayoría de las variaciones individuales en el crecimiento. Los peces pueden adaptarse a ciertas raciones de alimento. La reducción de la cantidad de alimento cercana a la ración de mantenimiento, provoca la pérdida de peso en un principio, seguida de ganancia en peso después de que se acostumbran a su nueva ración (Civera R. *et al* 1997).

#### 14. CONCLUSIONES.

- El uso de *Spirulina* sp, como sustituto de harina de pescado en dietas para trucha arcoiris, es bueno hasta una inclusión del 75%, debido a que no afecta el crecimiento de los organismos, aun si tienen distintas tallas de desarrollo.
- La dieta óptima que sugerimos brinda un mayor crecimiento a los organismos, es la dieta con 25% de inclusión de polvo de *Spirulina*, debido a que aumentó el peso final, la ganancia en peso y la tasa de crecimiento específica, la longitud, así como del consumo de alimento.
- Las dietas con distintos porcentajes de inclusión de *Spirulina* no afectaron la sobrevivencia de los organismos.
- El consumo de dieta disminuyó con el aumento, en el porcentaje de inclusión de polvo de *Spirulina*.
- Los valores obtenidos en la tasa de crecimiento específica, mostró que el uso de polvo de *Spirulina*, hasta el 75% de inclusión, no afectan el crecimiento ni sobrevivencia de los organismos.
- Por los valores obtenidos en la tasa de crecimiento específica atribuimos que la combinación de proteínas de la harina de pescado y polvo de *Spirulina*, con una inclusión desde 50% al 100%, no se encuentra completamente disponible para los organismos
- En el caso de la tasa de eficiencia proteica, se tuvo diferencia significativa al usar dieta con 25% de polvo de *Spirulina* sp, ya que disminuyó con respecto al uso de los otros tratamientos y el control.

- El Consumo de oxígeno en la primera fase de alimentación es menor en las dietas con inclusión del 100% de *Spirulina*.
- En cuanto a la excreción de  $\text{PO}_4$  hubo diferencia entre el control y las dietas con distintos porcentajes de inclusión, siendo la mejor la dieta con 100% de inclusión de *Spirulina* sp. al mostrar una ligera disminución.
- En el caso de la excreción de  $\text{N-N}^+\text{H}_4$  la mejor dieta para crías de trucha arcoiris es la dieta con 75% de *Spirulina*, en el caso de los juveniles el uso de la dietas con el 100% de inclusión por polvo de *Spirulina*, que en ambas tallas hay una disminución de la excreción de  $\text{N-N}^+\text{H}_4$ .
- Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de las proteínas en las dietas con los distintos porcentajes de inclusión de *Spirulina*, en la primera fase de alimentación, incrementaron de manera significativa al ser comparados con el control.
- La concentración de fósforo en excretas disminuyó con el aumento del porcentaje de *Spirulina*, esto puede ser debido al origen de la proteína, o a que hay una mejor asimilación metabólica del fósforo, pues disminuyó la cantidad de fósforo en las heces fecales. La mejor de las dietas fue la del 100% en ambas fases.
- En la segunda etapa de alimentación, los CDA de las proteínas aumentó, significativamente, en la dieta con 50% inclusión, los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas al ser comparadas con el control.
- En la primera fase de alimentación, la cantidad de proteína en músculo aumentó con el incremento de *Spirulina* en las dietas, encontrando diferencia significativa en la dieta con una inclusión del 100%, ya que aumenta significativamente la cantidad de proteína.

- En la segunda fase de alimentación, en lo que se refiere al contenido de proteína en hígado y suero sanguíneo, no hubo diferencia significativa entre tratamientos, aunque hubo crecimiento ligero con el aumento del porcentaje de *Spirulina* (figura 6).
- En la segunda fase de alimentación, la cantidad de proteína en músculo, no hubo diferencia significativa entre las dietas con diferente porcentaje de inclusión; sin embargo, la dieta con 25%, tuvo un ligero aumento con respecto al control.
- La cantidad de proteína en tejido hepático no presentó diferencia significativa entre tratamientos, aumentando en las dietas con 25%, 50%, 75% de inclusión, teniendo una ligera disminución en la dieta con 100% de inclusión.
- En la fase de alimentación uno la cantidad de lípidos en el músculo e hígado en las dietas con distintos porcentajes de *Spirulina*, disminuyó la cantidad de lípidos en ambos tejidos con respecto al control.
- En la segunda fase experimental, en la cantidad de lípidos en el tejido hepático, disminuyó en las dietas con 50%, 75% y 100% de inclusión; la dieta con 25% de inclusión aumentó los lípidos al ser comparados con el control.

La dieta óptima que sugerimos brinda un mayor crecimiento a los organismos, es la dieta con 25% de polvo de *Spirulina*, debido a que aumentó el peso final, la ganancia en peso, la tasa de crecimiento específica, la longitud, así como del consumo de alimento y la cantidad de proteína en músculo. Y no se vio afectada la sobrevivencia, el consumo de dieta de los organismos y el coeficiente de digestibilidad aparente. Sin embargo la tasa de eficiencia proteica disminuyó con respecto a las demás dietas.

La concentración de fósforo en excretas disminuyó con el aumento del porcentaje de *Spirulina*. Así como la cantidad de lípidos en músculo e hígado. Por el contrario cantidad de proteína en músculo aumentó con el incremento de *Spirulina* en las dietas.

En el caso del Consumo de oxígeno, la excreción de  $PO_4$ , la excreción de  $N-N^+H_4$ , la mejor la dieta fue la de 100% de inclusión de *Spirulina* sp. al mostrar una ligera disminución.

## 15. SUGERENCIAS.

Debido a que el uso de alimento de baja calidad representa un alto costo económico y ecológico, ya que el alimento no consumido y no digerido impacta directamente en la ecología del sistema de cultivo y su entorno. En este proyecto de investigación nosotros encontramos que las dietas elaboradas a partir de ingredientes de buena calidad como lo es la harina de *Spirulina* sp., aumenta el crecimiento de los organismos, y no afecta la sobrevivencia de las truchas arcoiris.

Uno de los principales problemas de la producción de trucha, es que el agua que utilizan es enriquecida con nitrógeno (N) y fósforo (P), debido al alimento que no es digerido por los organismos. En el presente estudio aunque nosotros no encontramos una tendencia en la disminución de la excreción de (N) y fósforo (P). Sugerimos que el uso de hidrolizados del polvo de *Spirulina* sp., tendrá una mejor asimilación de los nutrientes, lo cuál disminuirá la excreción de (N) y fósforo (P) evitando la reducción de calidad de agua; y aumentando el crecimiento de los organismos.

Nosotros sugerimos que el uso de dietas balanceadas con hidrolizados de *Spirulina* sp., harina de soya y harina de amaranto tendrá un efecto positivo en el crecimiento y rendimientos productivos de los organismos, así como en la utilización del P, disminuyendo la cantidad de P y N en las heces y excreciones metabólicas.



**ANEXO 1.**

**Primera Fase de Alimentación.**

**Peso final.**

Homogeneidad de varianza.

**ANOVA**

Test of Homogeneity of Variances				PESOFINAL						
PESOFINAL	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
	1.116	4	15	.386	Between Groups	22.518	4	5.630	3.983	.021
					Within Groups	21.203	15	1.414		
					Total	43.722	19			

**Kruskal-Wallis Test**

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
PESOFINAL	dieta	N	Mean Rank	Chi-Square	PESOFINAL
	1	4	13.50	11.757	
	2	4	17.25	df	4
	3	4	10.25	Asymp. Sig.	.019
	4	4	7.00	a. Kruskal Wallis Test	
	5	4	4.50	b. Grouping Variable: dieta	
	Total	20			

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

**Ganancia en Peso.**

Homogeneidad de varianza.

**ANOVA**

Test of Homogeneity of Variances				GANANCIAP						
GANANCIAP	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
	1.781	4	15	.185	Between Groups	73783.461	4	18445.865	1.624	.220
					Within Groups	170333.281	15	11355.552		
					Total	244116.742	19			

**Kruskal-Wallis Test**

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
GANANCIAP	dieta	N	Mean Rank	Chi-Square	GANANCIAP
	1	4	12.25	5.500	
	2	4	15.50	df	4
	3	4	10.00	Asymp. Sig.	.240
	4	4	7.75	a. Kruskal Wallis Test	
	5	4	7.00	b. Grouping Variable: dieta	
	Total	20			

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Tasa de Crecimiento Específico.

Homogeneidad de varianza.

ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				TasaCrecEsp					
TasaCrecEsp				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Between Groups	.768	4	.192	1.730	.196
2.464	4	15	.090	Within Groups	1.664	15	.111		
				Total	2.432	19			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	dieta	N	Mean Rank		TasaCrecEsp
TasaCrecEsp	1	4	12.25	Chi-Square	5.500
	2	4	15.50	df	4
	3	4	10.00	Asymp. Sig.	.240
	4	4	7.75		
	5	4	7.00		
Total		20			

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Sobrevivencia.

Homogeneidad de varianza.

ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				SOBREVIVENCIA					
SOBREVIVENCIA				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Between Groups	29.276	4	7.319	.781	.556
4.026	4	14	.022	Within Groups	131.250	14	9.375		
				Total	160.526	18			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
	dieta	N	Mean Rank		SOBREVIVENCIA
SOBREVIVENCIA	1	3	13.00	Chi-Square	2.893
	2	4	8.50	df	4
	3	4	7.75	Asymp. Sig.	.576
	4	4	10.75		
	5	4	10.75		
Total		19			

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Consumo de Dieta

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

#### Test of Homogeneity of Variances

consdieta			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.858	4	15	.170

consdieta					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.003	4	.001	2.271	.110
Within Groups	.005	15	.000		
Total	.008	19			

## Kruskal-Wallis Test

### Ranks

	Dieta	N	Mean Rank
consdieta	1	4	12.00
	2	4	16.75
	3	4	10.25
	4	4	7.50
	5	4	6.00
Total		20	

### Test Statistics<sup>a,b</sup>

consdieta	
Chi-Square	8.071
df	4
Asymp. Sig.	.089

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Tasa de Conversión de Alimento

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

#### Test of Homogeneity of Variances

tasaconvalim			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.273	4	15	.324

tasaconvalim					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.003	4	.001	.486	.746
Within Groups	.025	15	.002		
Total	.029	19			

## Kruskal-Wallis Test

### Ranks

	Dieta	N	Mean Rank
tasaconvalim	1	4	10.75
	2	4	7.25
	3	4	9.25
	4	4	11.75
	5	4	13.50
Total		20	

### Test Statistics<sup>a,b</sup>

tasaconvalim	
Chi-Square	2.600
df	4
Asymp. Sig.	.627

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Tasa de Eficiencia Proteica

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

tasaeficprot				tasaeficprot						
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.		
.727	4	15	.587	Between Groups	1019.534	4	254.883	11.625	.000	
				Within Groups	328.881	15	21.925			
				Total	1348.415	19				

## Kruskal-Wallis Test

Dieta	N	Mean Rank
tasaeficprot 1	4	17.50
2	4	15.00
3	4	9.00
4	4	6.75
5	4	4.25
Total	20	

	tasaeficprot
Chi-Square	14.243
df	4
Asymp. Sig.	.007

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Longitud total.

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Longfinal				Longfinal						
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.		
1.587	4	15	.229	Between Groups	3.074	4	.768	6.296	.004	
				Within Groups	1.831	15	.122			
				Total	4.904	19				

## Kruskal-Wallis Test

Dieta	N	Mean Rank
Longfinal 1	4	13.50
2	4	17.00
3	4	10.75
4	4	7.00
5	4	4.25
Total	20	

	Longfinal
Chi-Square	11.729
df	4
Asymp. Sig.	.019

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Coefficiente de Digestibilidad Aparente

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

cdaa				cdaa						
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.		
.516	4	15	.725	Between Groups	240.947	4	60.237	35.774	.000	
				Within Groups	25.257	15	1.684			
				Total	266.205	19				

### Kruskal-Wallis Test

dieta	N	Mean Rank
1	4	2.50
2	4	8.25
3	4	12.00
4	4	13.00
5	4	16.75
Total	20	

cdaa	
Chi-Square	13.329
df	4
Asymp. Sig.	.010

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Excreción de Fósforo

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

fosfatos				fosfatos						
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.		
2.205	4	65	.078	Between Groups	3.819	4	.955	73.857	.000	
				Within Groups	.840	65	.013			
				Total	4.659	69				

### Kruskal-Wallis Test

dieta	N	Mean Rank
1	15	27.87
2	15	61.20
3	13	10.08
4	15	48.20
5	12	24.58
Total	70	

fosfatos	
Chi-Square	56.577
df	4
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Excreción de Nitrógeno

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				Nitratos					
Nitratos				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Between Groups	.526	4	.132	16.353	.000
12.718	4	82	.000	Within Groups	.660	82	.008		
				Total	1.186	86			

### Kruskal-Wallis Test

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Tr...	N	Mean Rank	Nitratos		
Nitratos 1	19	29.08	Chi-Square	34.306	
2	19	69.74	df	4	
3	19	32.53	Asymp. Sig.	.000	
4	17	36.38	a. Kruskal Wallis Test		
5	13	54.92	b. Grouping Variable: Tratamiento		
Total	87				

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Consumo de oxígeno

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				ConsumoOx					
ConsumoOx				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Between Groups	4290.612	4	1072.653	41.864	.000
17.300	4	94	.000	Within Groups	2408.478	94	25.622		
				Total	6699.090	98			

### Kruskal-Wallis Test

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Dieta	N	Mean Rank	ConsumoOx		
ConsumoOx 1	20	60.15	Chi-Square	63.062	
2	20	74.50	df	4	
3	20	67.75	Asymp. Sig.	.000	
4	20	13.90	a. Kruskal Wallis Test		
5	19	32.84	b. Grouping Variable: Dieta		
Total	99				

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Proteína en músculo

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Proteinamus			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.136	4	10	.965

Proteinamus					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	198.582	4	49.645	5.323	.015
Within Groups	93.258	10	9.326		
Total	291.840	14			

## Kruskal-Wallis Test

	Dieta	N	Mean Rank
Proteinamus	1	3	4.67
	2	3	4.00
	3	3	7.67
	4	3	10.00
	5	3	13.67
Total		15	

	Proteinamus
Chi-Square	9.500
df	4
Asymp. Sig.	.050

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Proteína en hígado

Homogeneidad de varianza

### ANOVA

Proteinahig			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.945	4	10	.179

Proteinahig					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	26.163	4	6.541	1.476	.281
Within Groups	44.304	10	4.430		
Total	70.467	14			

## Kruskal-Wallis Test

	Dieta	N	Mean Rank
Proteinahig	1	3	3.00
	2	3	8.67
	3	3	7.67
	4	3	10.33
	5	3	10.33
Total		15	

	Proteinahig
Chi-Square	5.467
df	4
Asymp. Sig.	.243

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Proteína en suero

Homogeneidad de varianza

### ANOVA

Proteinasuero					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		
1.961	4	10	.177		
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	53.941	4	13.485	5.929	.010
Within Groups	22.743	10	2.274		
Total	76.684	14			

## Kruskal-Wallis Test

	Dieta	N	Mean Rank
Proteinasuero	1	3	4.00
	2	3	9.67
	3	3	13.67
	4	3	7.00
	5	3	5.67
Total		15	

	Proteinasuero
Chi-Square	8.600
df	4
Asymp. Sig.	.072

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Fósforo en excretas

Homogeneidad de varianza

### ANOVA

fosforoexcretas					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		
.533	4	15	.714		
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15747.913	4	3936.978	145.852	.000
Within Groups	404.895	15	26.993		
Total	16152.808	19			

## Kruskal-Wallis Test

	Dieta	N	Mean Rank
fosforoexcretas	1	4	18.00
	2	4	15.00
	3	4	10.50
	4	4	6.50
	5	4	2.50
Total		20	

	fosforoexcretas
Chi-Square	17.886
df	4
Asymp. Sig.	.001

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



## Concentración de Lípidos (músculo)

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Lipidomusc			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
16.000	4	10	.000

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	226.667	4	56.667	34.000	.000
Within Groups	16.667	10	1.667		
Total	243.333	14			

## Kruskal-Wallis Test

	Dieta	N	Mean Rank
Lipidomusc	1	3	14.00
	2	3	5.50
	3	3	9.50
	4	3	5.50
	5	3	5.50
Total		15	

	Lipidomusc
Chi-Square	12.277
df	4
Asymp. Sig.	.015

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Concentración de Lípidos (hígado)

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Lipidohigado			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
12.005	4	10	.001

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	202.957	4	50.739	15.970	.000
Within Groups	31.772	10	3.177		
Total	234.729	14			

## Kruskal-Wallis Test

	Dieta	N	Mean Rank
Lipidohigado	1	3	14.00
	2	3	6.67
	3	3	5.00
	4	3	9.33
	5	3	5.00
Total		15	

	Lipidohigado
Chi-Square	9.708
df	4
Asymp. Sig.	.046

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Dieta

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

**Segunda Fase de Alimentación.**

**Peso final.**

Homogeneidad de varianza.

ANOVA

PF	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	1.621	4	10	.244

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	389.905	4	97.476	11.691	.001
Within Groups	83.375	10	8.337		
Total	473.280	14			

**Kruskal-Wallis Test**

Tr...	N	Mean Rank
PF 1	3	8.00
2	3	13.00
3	3	10.33
4	3	6.67
5	3	2.00
Total	15	

	PF
Chi-Square	10.233
df	4
Asymp. Sig.	.037

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

**Ganancia en Peso**

Homogeneidad de varianza.

ANOVA

GP	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	4.118	4	10	.032

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14748.960	4	3687.240	7.023	.006
Within Groups	5250.060	10	525.006		
Total	19999.019	14			

**Kruskal-Wallis Test**

Tr...	N	Mean Rank
GP 1	3	9.67
2	3	13.33
3	3	8.33
4	3	6.67
5	3	2.00
Total	15	

	GP
Chi-Square	10.367
df	4
Asymp. Sig.	.035

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Tasa Específica de Crecimiento

Homogeneidad de varianza.

Test of Homogeneity of Variances				ANOVA				
TCE				TCE				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3.866	4	10	.038	.766	4	.191	7.619	.004
				.251	10	.025		
				1.017	14			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks			Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Tr...	N	Mean Rank		TCE
TCE 1	3	9.67	Chi-Square	10.367
2	3	13.33	df	4
3	3	8.33	Asymp. Sig.	.035
4	3	6.67		
5	3	2.00		
Total	15			

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Sobrevivencia

Homogeneidad de varianza.

Test of Homogeneity of Variances				ANOVA				
Sobrevivencia				Sobrevivencia				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.000	4	10	.171	293.333	4	73.333	1.833	.199
				400.000	10	40.000		
				693.333	14			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks			Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Tr...	N	Mean Rank		Sobrevivenci a
Sobrevivencia 1	3	12.50	Chi-Square	6.162
2	3	8.17	df	4
3	3	6.67	Asymp. Sig.	.187
4	3	4.50		
5	3	8.17		
Total	15			

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Consumo de Dieta

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				ANOVA				
CD				ANOVA				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3.018	4	10	.071	.111	4	.028	4.885	.019
				.057	10	.006		
				.167	14			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks			Test Statistics <sup>a,b</sup>	
diet	N	Mean Rank	Chi-Square	CD
1	3	6.67	8.300	8.300
2	3	12.00	df	4
3	3	11.00	Asymp. Sig.	.081
4	3	7.67	a. Kruskal Wallis Test	
5	3	2.67	b. Grouping Variable: diet	
Total	15			

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Tasa de Conversión de Alimento

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				ANOVA				
TCA				ANOVA				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
.496	4	10	.739	.108	4	.027	.503	.735
				.538	10	.054		
				.646	14			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks			Test Statistics <sup>a,b</sup>	
diet	N	Mean Rank	Chi-Square	TCA
1	3	5.00	3.167	3.167
2	3	7.33	df	4
3	3	11.33	Asymp. Sig.	.530
4	3	7.67	a. Kruskal Wallis Test	
5	3	8.67	b. Grouping Variable: diet	
Total	15			

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Tasa de Eficiencia Proteica

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

#### Test of Homogeneity of Variances

TEP			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.750	4	10	.580

TEP					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.002	4	10.500	3.955	.035
Within Groups	26.552	10	2.655		
Total	68.554	14			

## Kruskal-Wallis Test

#### Ranks

diet	N	Mean Rank
TEP 1	3	13.00
2	3	9.00
3	3	4.00
4	3	6.67
5	3	7.33
Total	15	

#### Test Statistics<sup>a,b</sup>

	TEP
Chi-Square	6.633
df	4
Asymp. Sig.	.157

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: diet

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Longitud total

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

#### Test of Homogeneity of Variances

Lgfinal			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.925	4	10	.077

Lgfinal					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.161	4	3.540	11.414	.001
Within Groups	3.102	10	.310		
Total	17.263	14			

## Kruskal-Wallis Test

#### Ranks

Tr...	N	Mean Rank
Lgfinal 1	3	7.67
2	3	13.00
3	3	11.00
4	3	6.33
5	3	2.00
Total	15	

#### Test Statistics<sup>a,b</sup>

	Lgfinal
Chi-Square	10.933
df	4
Asymp. Sig.	.027

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Coefficiente de Digestibilidad Aparente

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

cdab				cdab					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.056	4	10	.162	Between Groups	138.915	4	34.729	5.126	.017
				Within Groups	67.750	10	6.775		
				Total	206.665	14			

## Kruskal-Wallis Test

trat...	N	Mean Rank
1	3	6.67
2	3	4.67
3	3	13.67
4	3	5.00
5	3	10.00
Total	15	

	cdab
Chi-Square	8.700
df	4
Asymp. Sig.	.069

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Excreción de Fósforo

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

PO				PO					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
10.759	4	35	.000	Between Groups	4.911	4	1.228	12.640	.000
				Within Groups	3.400	35	.097		
				Total	8.311	39			

## Kruskal-Wallis Test

DIET	N	Mean Rank
1	10	24.20
2	8	17.94
3	7	32.93
4	7	24.00
5	8	4.50
Total	40	

	PO
Chi-Square	25.910
df	4
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: DIET

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Excreción de Nitrógeno

Homogeneidad de varianza

### ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				NH					
NH				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Between Groups	.979	4	.245	21.846	.000
2.111	4	40	.097	Within Groups	.448	40	.011		
				Total	1.427	44			

### Kruskal-Wallis Test

Ranks			Test Statistics <sup>a,b</sup>	
TR...	N	Mean Rank	NH	
NH 1	9	25.61	Chi-Square	23.724
2	8	27.12	df	4
3	9	28.17	Asymp. Sig.	.000
4	9	31.00		
5	10	5.50		
Total	45			

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: TRATAMIEN

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Consumo de oxígeno

Homogeneidad de varianza.

### ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				CO					
CO				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Between Groups	955.490	4	238.873	17.125	.000
4.805	4	45	.003	Within Groups	627.682	45	13.948		
				Total	1583.173	49			

### Kruskal-Wallis Test

Ranks			Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Tr...	N	Mean Rank	CO	
CO 1	10	12.30	Chi-Square	28.282
2	10	16.15	df	4
3	10	24.85	Asymp. Sig.	.000
4	10	31.20		
5	10	43.00		
Total	50			

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Proteína en músculo

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Protomusculo					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		
.557	4	10	.699		
Protomusculo					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	135.312	4	33.828	1.270	.344
Within Groups	266.305	10	26.631		
Total	401.617	14			

## Kruskal-Wallis Test

Tr...	N	Mean Rank
Protomusculo 1	3	4.67
2	3	12.00
3	3	7.67
4	3	7.67
5	3	8.00
Total	15	
Protomusculo		
Chi-Square	4.100	
df	4	
Asymp. Sig.	.393	

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Proteína en hígado

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Prothigado					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		
2.112	4	10	.154		
Prothigado					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	96.455	4	24.114	3.839	.038
Within Groups	62.818	10	6.282		
Total	159.273	14			

## Kruskal-Wallis Test

Tr...	N	Mean Rank
Prothigado 1	3	5.17
2	3	6.00
3	3	12.33
4	3	12.00
5	3	4.50
Total	15	
Prothigado		
Chi-Square	8.874	
df	4	
Asymp. Sig.	.064	

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*



## Proteína en suero

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Protsuero				Protsuero					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.079	4	10	.159	Between Groups	24.591	4	6.148	9.576	.002
				Within Groups	6.420	10	.642		
				Total	31.011	14			

## Kruskal-Wallis Test

Tr...	N	Mean Rank
Protsuero 1	3	13.67
2	3	11.00
3	3	3.00
4	3	6.00
5	3	6.33
Total	15	

	Protsuero
Chi-Square	10.933
df	4
Asymp. Sig.	.027

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Fósforo en excretas

Homogeneidad de varianza

ANOVA

fosforoheces				fosforoheces					
Levene Statistic	df1	df2	Sig.		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
6.728	4	10	.007	Between Groups	6036.153	4	1509.038	24.864	.000
				Within Groups	606.920	10	60.692		
				Total	6643.073	14			

## Kruskal-Wallis Test

Tr...	N	Mean Rank
fosforoheces 1	3	14.00
2	3	10.33
3	3	8.67
4	3	5.00
5	3	2.00
Total	15	

	fosforoheces
Chi-Square	13.033
df	4
Asymp. Sig.	.011

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Tratamiento

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Concentración de Lípidos (músculo)

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				Lipmusculo				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.000	4	10	.171	43.333	4	10.833	1.083	.415
				100.000	10	10.000		
				143.333	14			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Diet	N	Mean Rank	Chi-Square	df	Asymp. Sig.
Lipmusculo 1	3	9.67	3.956	4	.412
2	3	7.33			
3	3	10.67			
4	3	5.00			
5	3	7.33			
Total	15				

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Diet

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## Concentración de Lípidos (hígado)

Homogeneidad de varianza

ANOVA

Test of Homogeneity of Variances				Liphigado				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2.476	4	10	.112	93.333	4	23.333	.778	.564
				300.000	10	30.000		
				393.333	14			

## Kruskal-Wallis Test

Ranks				Test Statistics <sup>a,b</sup>	
Diet	N	Mean Rank	Chi-Square	df	Asymp. Sig.
Liphigado 1	3	9.50	2.343	4	.673
2	3	10.17			
3	3	8.00			
4	3	6.17			
5	3	6.17			
Total	15				

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Diet

\*Dieta 1: Control, Dieta 2: 25% de *Spirulina*, Dieta 3: 50% de *Spirulina*, Dieta 4: 75% de *Spirulina*, Dieta 5: 100% de *Spirulina*

## ANEXO 2.

El polvo de *Spirulina* para el presente trabajo de investigación fue comprada en la empresa CIMA NATURAL, con las siguientes características:

Tabla 1. Composición proximal del polvo de *Spirulina*.

<b>Características</b>	<b>Valor Estándar</b>	<b>Resultados</b>
Color	Verde azulado	Verde azulado
Proteínas (%)	$\geq 60$	63.3
Cenizas (%)	$\leq 8$	7.2
Humedad (%)	$\leq 8$	7.1
Plomo	$\leq 5.5$	0.95
Arsénico mg/Kg	$\leq 0.5$	0.36
Cadmio mg/Kg	$\leq 0.2$	0.11
Mercurio mg/Kg	$\leq 0.05$	0.01
Recuento de bacterias cfu/g	$\leq 50000$	<10000
Bacteria coli MPN/100g	$\leq 90$	<30
Baterias patógenas	Ninguna	Ninguna

### ANEXO 3.

#### *Spirulina* sp.

La cianofícea *Spirulina*, que aparece en afloramientos de aguas con altos contenidos de sales, ha sido aprovechada para el consumo humano, en México desde la época prehispánica (De Lara, 2005)

*Spirulina* sp es un organismo considerado como cianobacteria y anteriormente se le incluía en las microalgas azul-verdes de la división Cyanophyceae. Se trata de una formación multicelular microscópica filamentosas colonial, de aspecto helicoidal de tamaño entre 200 y 250 micras de largo (De Lara, 2005)

Las cianofitas están relacionadas con las eubacterias gram negativas por poseer una pared celular de cuatro capas, la capa más característica está constituida por peptidoglucanos que contienen mureína; sin embargo, presentan importantes particularidades que las relacionan con las algas eucariotas, como son la presencia de clorofila y el realizar fotosíntesis aeróbica con liberación de oxígeno. El principal pigmento que contiene *Spirulina* sp es la clorofila a y varias ficobiliproteínas como pigmentos accesorios, como son:  $\beta$ caroteno, ficocianina, ficoeritrina y aloficocianina. Como sustancias de reserva, *Spirulina* sp. concentra gránulos de carbohidratos y de cianoficina, que es un compuesto de arginina y ácido aspártico (Gallardo, 1997).

Las cianobacterias tienen grandes ventajas como recursos potenciales de proteína y solamente requieren un medio acuático con nutrientes inorgánicos y luz solar para su producción. Por las características nutritivas que presenta *Spirulina* sp., se le ha utilizado como alimento de diversas especies que van desde: insectos, crustáceos, peces, ganado avícola, vacuno y porcino e inclusive el hombre ya que tradicionalmente este

recurso ha sido utilizado como suplemento alimenticio por poblaciones humanas, como se observa en los moradores cercanos al Lago Chad. (De Lara, 2005)

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Spirulina*., según (De Lara, 2005)

Reino	Bacteria
División	Cianobacteria
Clase	Cyanophyceae
Orden	Oscillatoriales
Género	<i>Spirulina</i>

Los beneficios que *Spirulina* sp., ha demostrado en peces son: incrementó en la tasa de crecimiento; mejoramiento de la calidad y coloración de la carne del pez; aumentó de la sobrevivencia; reducción de los requerimientos de medicamentos; disminución de los desechos en los drenajes de los estanques (Henson, 1990).

Se ha reportado que *Spirulina* sp., hace más eficiente la conversión del alimento; al mejorar la flora intestinal, la cual desintegra compuestos no digeribles o de difícil digestión, que contengan los alimentos; la misma flora bacteriana produce vitaminas y desplaza a bacterias dañinas o peligrosas dentro del intestino del organismo. *Spirulina* sp., estimula la producción de enzimas que transportan a las grasas por el cuerpo, así el animal puede utilizar la grasa como energía para el crecimiento en lugar de que se acumule y se vuelva flácido (Iwata, 1990).

#### ANEXO 4.

##### Trucha arcoiris

La llamada trucha arco iris, cuyo nombre científico es *Oncorhynchus mykiss*, es un pez que pertenece al grupo de los salmónidos, originario de América del Norte; en nuestro país, su distribución introducida abarca las corrientes de aguas frías y cristalinas de las zonas montañosas más altas de los estados de Durango, Chihuahua, Baja California, Sinaloa y Sonora; en otras regiones del país, como es el caso de Oaxaca, la trucha arco iris ha sido introducida (Camacho, et al., 2000).

El nombre de este pez deriva de la peculiar coloración que posee, misma que varía en función del medio, de la talla, del sexo, del tipo de alimentación y del grado de maduración sexual (Camacho, et al., 2000).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) según Camacho, et al., 2000.

Reino	Animal
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Pisces
Clase	Osteichthyes
Subclase	Actinopterygii
Orden	Salmoniformes
Familia	Salmonidae
Género	Oncorhynchus
Especie	mykiss
Nombre científico	Oncorhynchus mykiss
Nombre común	Trucha arco iris

## Descripción de la especie

Es un pez de color gris con franja verde, roja o azul en medio de su cuerpo, el cual está cubierto de escamas delgadas plateadas que, con el agua y el sol, dan origen a su nombre: "arcoiris". La trucha arcoiris que vive en río o arroyo, puede llegar a medir de 50 a 90 cm. de largo, adquirir un peso hasta de 15 kg. Cuando son crías son de tamaño pequeño (<26 cm Longitud Patrón), con abundantes colores oscuros de forma irregular, arriba y debajo de la línea lateral, contrastando con el color verde oliváceo de la cabeza y el dorso. Los adultos con fase de coloración oscura, poseen una franja lateral de color rojo ladrillo, lo cual es poco aparente en fase clara. Los juveniles con 9 a 12 marcas "parr" de formas redondas y persistentes en adultos. Escamas en serie lateral de 125 a 140 (promedio 118), ciegos pilóricos 46 a 53 y vértebras de 61 a 62. Dentro del complejo "arcoiris", la subespecie *O. mykiss nelsoni*, exhibe el intervalo más amplio en la altura del cuerpo y en la distancia del origen de la aleta dorsal al origen de las aletas pélvicas (Needham y Gard, 1959).

## Origen

La trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* en su vida salvaje estuvo confinada en los ríos y lagos de la mitad oeste de Norteamérica. Existen dos variedades principales de trucha arco iris; una de ellas es conocida como Reo o "Steelhead" (cabeza de acero), que migran al mar apareciendo en la mayoría de los ríos que desembocan en el mar. Posteriormente fue introducida la trucha en los lagos de América del Sur. Llegando a alcanzar los 9 kg. de peso (Drummond, 1988).

La trucha arco iris se introdujo en diversas partes del mundo desde 1874 para su cultivo (Billard, 1991). A partir de la década de los 50's, la producción ha crecido exponencialmente y en 2003 se produjeron 490,652 toneladas en 64 países y entre los principales productores están Chile, Noruega, Dinamarca y Francia (FAO, 2005).

## **Comportamiento**

El comportamiento de la trucha arco iris en estado salvaje es similar al de la trucha común de Europa (*Salmo trutta*). La variedad marina de trucha arco iris pasa de uno a cinco años en los ríos de origen. A diferencia de la trucha común, presenta una gran variación en la época de desove, que se extiende desde el otoño hasta la primavera y además, en estado salvaje tiene un crecimiento más rápido que la trucha común. Con una buena alimentación, pueden alcanzar pesos de 250 g antes del primer año, lo que la convierten una especie rentable para su cultivo (Drummond, 1988).

## **Alimentación**

Se alimenta principalmente de insectos (larvas y adultos, acuáticos y terrestres), moluscos, crustáceos, peces. Especialmente en estanques y en determinadas circunstancias en estado silvestre es caníbal (Ruiz, 1992).

## **Reproducción**

Los machos de la trucha arco iris siempre son de mayor tamaño y durante la etapa de reproducción suelen desarrollar dimorfismo sexual; la trucha tiene un ciclo reproductor anual, siendo una condición indispensable que el macho y la hembra sean adultos y sexualmente maduros. Los machos pueden adquirir la madurez sexual a los 15 o 18 meses, mientras que en las hembras es un poco más tardado, ya que necesitan un mínimo de dos años (Camacho, 2000).

Durante el proceso de maduración sexual, las truchas van sufriendo una serie de cambios morfológicos en su aspecto, los cuales hacen que uno pueda distinguir fácilmente los machos de las hembras; dos de los cambios más notorios sucede en el macho, uno de ellos es en el maxilar inferior debido a que este sufre un proceso de prolongación, así como una ligera curvatura dorsal del cuerpo (Camacho, 2000).

Busca aguas corrientes por lo que acostumbra remontar ríos y arroyos de aguas limpias y frescas. Las hembras cavan surcos en el fondo con potentes movimientos de sus colas, luego depositan sus óvulos al mismo tiempo que los machos liberan el esperma para



fecundarlos; posteriormente las hembras cubren los huevos con grava y abandonan el "nido" (Ruiz, 1992).

Esta actividad es realizada por parejas que se forman para la puesta. La época de reproducción de esta especie depende de la localización y variedad; en general se reproduce de Enero a marzo, con mayor intensidad en febrero. La talla y edad de primera madurez sexual es desde los 103 mm de longitud patrón y 1 año de edad, respectivamente (Ruiz, 1992).

### **Hábitat**

En los arroyos de la pendiente occidental de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México, en altitudes de 600 a 2,000m, se distribuyen poblaciones endémicas de trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss* (Ruiz, 1992).

La trucha arco iris en su ambiente natural, es un pez que habita espacios acuáticos con aguas puras y cristalinas, con cauces que presentan marcados desniveles topográficos que originan rápidos, saltos y cascadas que son muy comunes en los ríos de alta montaña, son estos rápidos con una pronunciada velocidad de corriente y suelo pedregoso los más frecuentados por las truchas. Las truchas son peces nativos de regiones elevadas y montañosas donde existen aguas frías y claras (Camacho, 2000).

## REFERENCIAS

Abd El-Hardy E.A., y Habiba R.A., 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm- Wiss. U. Technol*, 36:285-293. 1997. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *The Journal of Experimental Biology*. 2000:2337-2346.

Adams S.M., 1990. Status and use of biological indicators for evaluating the effects of stress on fish. *Biological indicators of stress on fish*. American Fisheries Society Symposium. Ed. S.M. Adams, Bethesda Maryland. USA. 1,2 p.

Atlas, M. R. y Bartha R. *Microbial Ecology. Fundamentals and Applications*. 3rd ed. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, Cal. 1993. pp.563.

AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Association of Anal. Chem., Virginia, USA, pp. 69-78

Battista, G.P., Gail, F., Daprà, F. Gasco, L., Pazzaglia, M., Peirett, P.G. 2008. Effects of Spirulina and plant oil on the growth and lipid traits of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) fingerlings. *Aquaculture Research*. 39: 587-595.

Bergheim, A. y Sveier, H. 1995. Replacement of fish meal in salmonid diets by soy meal reduces phosphorus excretion. *Aquaculture*. 3; 265-268.

Bligh, E.G., y Dyer, W.J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol*. 37: 911-917.

Bureau, D.P. y Cho, C.Y. 1999. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): estimation of dissolved phosphorus waste output. *Aquaculture*, 179, 127-140.

Burrells, A.C., Good, J.E., Williams, P.D., Southgate, P.J. & C. Burrells. (2001). The binding of soybean agglutinin (SBA) to the intestinal epithelium of Atlantic salmon,

*Salmo salar* and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed high levels of soybean meal. *Veterinary Immunology y Immunopathology*, 80(3):237-244.

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

Carter C.G., y Hauler R.C., 2000. Fish meal replacement by plants meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar*. L. *Aquaculture*, 185:299-311.

Cheng Z.J., y Hardy R.W., 2003. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 9:77-83.

Civera R. y Ortiz J., 1997. Avances en la nutrición de la cabrilla arenera (*Paralabrax maculatofasciatus*).

CONAPESCA. 2003. Anuario estadístico de pesca. CONAPESCA. México. 265.p.

CONAPESCA-SAGARPA. 2005. Anuario estadístico de pesca 2005. CONAPESCA. México.265.p.

Cruz, C.A.C., Barajas de la Cruz, A., Hernández H.L.H., Ángeles, L.O., Fernández A.M.A., y Ramírez, P.T. 2008. Effects of soybean and flaxseed meals on the growth and phosphorus and nitrogen excretion of rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). *Book of Abstracts of the First International Workshop of the CGNA, 4-6 August, 2008.*

Drew, M.D., Racz, V.J., Gauthier, R., y Thiessen, D.L. 2005. Effect of adding protease to coextruded flax: pea or canola: pea products on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Feed Scientific Technology*. 119: 117-128.

Durán, D.A., Cisneros, C.A.E. y Vargas, V.A. 2003. Bioestadística. UNAM FES Iztacala. México. 222.p.

El-Saidy D. M. S. D. y Garber M.M.A., 2003. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein source in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)(L). diets. *Aquaculture Research* , 34:1119-1127.

Fagbenro O.A., 1998. Apparent digestibility of various legume seed meals in Nile tilapia diets. *Aquaculture International*. 6:83–87

FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service (FIRI). 2006. Cultured Aquatic Species Information Programme - *Oncorhynchus mykiss*. Cultured Aquatic Species Fact Sheets, FAO.

FAO. 2007. Food Outlook, global market analysis. FAO. Rome Italy. 91.p.  
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ah876e/ah876e00.pdf>

FIGIS.<http://www.fao.org:80/figis/servlet/static?dom=culturespecies&xml=CultureSpecies2934.xml>.

Franco, L.J., De la Cruz, A.G., Cruz, G.A., Rocha, M.A., Navarrete, S.N., Flores, M.G., Kato, M.E., Sánchez, C.S., Abarca, A.L.G., y Bedia, S.C. 2001. Manual de Ecología. 2da. Ed. Trillas. México. 266.p.

Furakawa, A. & Tsukahara, H. (1966) On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 32, 502–506.

Gallardo, T. 1997. Las Algas. 195-196. En Botánica. Izco,S., J y col. Ed. McGraw-Hill-Interamericana de España. 1997.

Garduño- Lugo M., y Olvera-Novoa M., 2008. Potential of the use of peanut (*Arachis hypogaea*) leaf meal as a partial replacement for fish meal in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research*: 39:1299-1306

Glencross, B. y Hawkins, W. 2004. A comparison of the digestibility of lupin (*Lupinus* sp.) kernel meals as dietary protein resources when fed to either, rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* or red seabream, *Pagrus auratus*. *Aquaculture. Nutrition*. 10: 65-73.

Glencross B., Carterc Duijster N., Evans D., Dods K., McCafferty P., Hawkins W., Maas R., y Sipsas S. 2004. A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 237: 333–346

Glencross B., Both M. y Allan G.L., 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition* 13: 17-34.

Gomez E.F., Remab P. y Kaushik S.J., 1995. Replacement of fish-meal by plant-protein in the diet of rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*). Digestibility and growth-performance, 130 (2):177-186.

Goytortúa E. 2000. Evaluación del valor nutricional de un extracto lipídico y un concentrado proteínico de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) para el camarón blanco (*Litopenacus vannamei*). Posgrado institucional en Ciencias Pecuarias. Universidad de Colima.

Green J.A., Hardy R.W., y Brannon E.L., 2002. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). L. Laboratory –scale study. *Aquaculture nutrition*, 8:279-290.

Halver J.E., y Hardy R.H., 2002. *Fish Nutrition*. Third edition, Academic Press, San Diego California, pp144.

Hardy, R.W. 2002. Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: En: Webster, C.D. y Lim, C. (Eds.). *Nutrient requirements and feeding of fish for aquaculture*. CAB International.

Hasan M.R., Macintosh D.J., y Jauncey K., 1997. Evaluation of some plant ingredient as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.). fry *Aquaculture*, 151 (1-4): 55-70.

Hemre, G.-I., Sanden, M., Bekke-MkKellep, A.M., Sagstad, A. y Krogdahl, Å. 2005. Growth, feed utilization and health of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed genetically

modified compared to non-modified commercial hybrid soybeans. *Aquaculture Nutrition*. 11: 157-167.

Hernández, L.H.H. 1998. Producción de tres microalgas bajo condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura, FES Iztacala, UNAM..

Hernández, H.L.H., Teshima, S., Ishikawa, M., Alam, M.S., Koshio, S., y Tanaka Y. 2005. Dietary vitamin A requirements of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture Nutrition*. 11 (1): 3-9.

Hossain M.A., y Jauncey K., 1989. Studies on the protein, energy and amino acid digestibility of fish meal, Mustard Oilcake, Linseed and sesame meal for common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture* 83: 59-72.

Hossain M.A., Nahar N. y Kamal M., 1997. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal protein for rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture* 151:37-45.

Iglesias J., Toledo J., 2008. Evaluación de diferentes proporciones de proteína animal en la dieta de (*Clarias gariepinus*). *Revista electrónica de veterinaria*. Vol IX. Número 4.

Jung, S.H., Sim, D.S., Park, M.S., Jo, Q.T., Kim, Y. 2003. Effects of formalin on haematological and blood chemistry in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck at Schlegel). *Aquaculture Research*. 34, 1269-1275.

Lee, K.-J., Richard, J. Dabrowski, K., Babiak, I., Ottobre, J.S., Christensen, J.E. 2005. Long-term effects of dietary cottonseed meal on growth and reproductive performance of rainbow trout: Three-year study. *Ani. Feed Sci. Techno*. In press.

Lowry O.H., Rosebrough W.J., Farr A.L. & Randall R.J. (1951) Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265–275.

Martinez C.A., Chávez S.M.C., Olvera N.M.A., y Abdo P.M.I., 1999. Fuentes alternativas de proteínas vegetales como sustituto de harina de pescado para alimentación en acuicultura. *Avances en nutrición acuícola III. Memorias del tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*.

Martínez T. 1999. Evaluación del crecimiento de juveniles del bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) alimentados con desecho de procesados de calamar. Universidad de Colima. Facultad de Ciencias Marinas. 17-23.p.

McCallum, I., Newell, W., Cruz-Suarez, L.E., RicqueMarie, D., Tapia-Salazar, M., Davis, A., Thiessen, D., Campbell, L., Willerer, A. O. M., Phillips, C. y Hickling, D. 2000. Uso de arvejon (feed pea, chicharo) *Pisum sativum* en alimentos para camarones (*Litopenaeus stylirostris* y *L. vannamei*), tilapia (*Oreochromis niloticus*) y trucha (*Oncorhynchus mykiss*). En: Cruz -Suárez, L.E., RicqueMarie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R. (Eds.). Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 19-22 Noviembre, 2000. Mérida, Yucatán.

Médale F., Boujard T., Vallée F., Blanc D., Mambrini M., Roem A., y Kaushik S.J., 1998. Voluntary feed intake, nitrogen and phosphorus losses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Avances en nutrición acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola.

Mukhopadhyay N. y Ray A.K., 2001. Effects of amino acid supplementation on the nutritive quality of fermented linseed meal protein in the diets for rohu, *Labeo rohita*, fingerlings. Journal of Applied Ichthyology. 17:220-226.

Mundheim H., Aksnes A., y Hope B., 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*salmo salar* L.) feed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. Aquaculture 237:315-331.

Nandeesh, M.C., Gangadhar, B., Varghese, T.J., Keshavanarh, P. (1998). Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. Aquaculture Research. 29: 305-312.

Nandeesh M.C., Gangadhara B., Manissery J. K., y Venkataraman L. V. 2001. Growth performance of two Indian major carps, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. 80:117-120.

Needham, P.R. y R. Gard. 1959. Rainbow trout in Mexico and California with notes on the cutthroat series. University of California Publications in Zoology 67: 1–124.

Niedzwiedz I.S., 1997. Cyanogenic glucosides in *Linum usitatissimum*. Phytochemistry 49 (1): 59-63.

NRC. 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academic Press, Washington D.C. USA, pp. 21-25.

Olvera-Novoa, M.A., Domínguez-Cen, L.J., Olivera-Castillo, L., y Martínez-Palacios, C.A. 1998. Effect of the use of the microalgae *Spirulina maxima* as fish meal replacements in diets for tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters), fry. Aquaculture Research. 29: 709-715.

Oomah B.D., Mazza G., y Kenaschuk E.O., 1992. Cyanogenic compounds in flaxseed. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40:1346-1348.

Palacios J., Santander C., Zambrano A., y López J. 2007. Evaluación comparativa de prebióticos y probióticos incorporados en el alimento comercial sobre el crecimiento y la sobrevivencia de una especie nativa, el sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*) y una especie foránea, trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola año II, vol. 2:191-229.

Palmegiano, G.B., Agradi, E., Forneris, Gai, F., Gasco, L., Rigamonti, E., Sicuro, B., y Zoccarato, I. 2005. Spirulina as a nutrient source in diets for growing sturgeon (*Acipenser baeri*). Aquaculture Research. 36: 188-195.

Pouomogne V., Takam G., Pouemegne J., 1997. A preliminary evaluation of cacao husks diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 156: 211-219.

Richie y Brown, 1999. Incorporation of plant protein feedstuffs into fish meal diets for rainbow trout increases phosphorus availability. Aquaculture Nutrition, 5:101.

Riley W.W., Jr Higgs D.A., Dosanjh B.S., y Eales J.G., 1993. Influence of dietary amino acid composition on thyroid function of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 224:271-282.



Romarheim O.H., Skrede A., Gao Y., Krogdahl A., Denstadli V., Lileeng E., y Storebakken T., 2006. Comparison of white flakes and toasted soybean meal partly replacing fish meal as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 256:354-364.p.

Rueda R. 2005. Diet and Weaning age affect the growth and condition of dover sole (*Solea solea*). *Ciencias Marinas*. Septiembre año/vol 31. Número (003): Universidad Autonoma de Baja California. México. pp 477-489.

Saucedo M. 2006. Análisis de la producción de un cultivo intenso de trucha arcoiris(*Onchorhynchus mykiss*) realizado en tanques de 1000 litros. Informe de servicio social. FES- Zaragoza, UNAM.59.p.

Sajjadi, M. y Carter, C.G. 2004. Effect of phytic acid and phytase on feed intake, growth, digestibility and trypsin activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.). *Aquaculture Nutrition*. 10: 135-142.

Sato S., Hernández A., Tokoro T., Morishita Y., Kiron W. y Watanabe T. 2003. Comparison of phosphorus retention efficiency between rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a commercial diet and low fish meal based diet. *Aquaculture*, 224: 271-282.

Smith R.R., 1976. Metabolizable energy of feedstuffs for trout. *Feddstuffs*, 48(23): 16-21.

SEMARNAP. 2000. Guía para el cultivo de trucha. SEMARNAP, México, pp135.

Sherpherd J., Bromage N., 1999. *Piscicultura Intensiva*. Editorial Acribia. España. pp155,156, 186-191.

Storebakken, T., Shearer, K.D. y Roem, A.J. 2000. Growth, uptake and retention of nitrogen and phosphorus and adsorption of other minerals in Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with fish meal and soy-protein concentrate as the main sources of protein. *Aquaculture Nutrition*. 6: 103-108.

Tacon A. G., Stafford E.A., y Edwards C.A.1983. A preliminary investigation of the nutritive value of three terrestrial lumbricid worms for rainbow trout. *Aquaculture*, 35: 187-199

Teshima, S., Kanazawa, A., y Yamashita, M., 1986. Dietary value of several proteins and supplemental aminoacids for larvae of the prawn, *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*. 51: 225–235.

Thiessen D.L., 2004. Optimization of feed peas, canola and flaxseed for Aqua feeds: the Canadian Prairie Perspective. *Advances en nutrición acuícola VII. Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*.

Tibbetts S.M., Milley T.J., y Lall S.P., 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantis cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) *Aquaculture*, 261: 1314-1327.

Vargas R. 2003. Evaluación de la reproducción de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) producida en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. Año/Vol 14. Universidad de Costa Rica. 123-127.p.

Watanabe T., Takeuchi T., Satoh S., Ida T. y Yaguchi M. 1987. Development of low protein-high energy diets for practical carp cultura with special reference to reduction of total nitrogen excretion , *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(8):1413-1423.

Wu V.Y., Rosati R., Sessa D., Brown P. 1995. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in tilapia diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* Vol. 43, 6:1585-1588.

Zamora G, Vázquez C y Berruecos J. 1999. Estimación de algunos efectos genéticos de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) a partir de un entrecruzamiento dialélico completo en dos líneas, infertilidad y supervivencia. *Revista Veterinaria de México* 30 (3):231-234.