



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**



**Evaluación de factores fisiológicos en trucha arcoíris
(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1972) alimentadas con
dieta con alta concentración de proteína vegetal**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LIC. EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

GERARDO NAJERA ROJAS

**Director de Tesis
M. en C. Mario Alfredo Fernández Araiza**

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO., MARZO DE 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Este trabajo fue realizado gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) con clave: IN214718 de la Universidad Nacional Autónoma de México.

DEDICATORIA

A mi madre Magnolia, por educarme y por tu apoyo incondicional, por creer en mis sueños y volverlos tuyos, por estar siempre al pendiente de mí, por tu cuidado y consejo, además de aquellos regaños que me ayudaron a guiarme por un buen camino, porque este logro también es tuyo ya que sin tu amor y determinación no habría sido posible.

A mi padre Gerardo, por aquellas noches de desvelo en las cuales cuando necesite tu ayuda siempre estuviste para tenderme la mano, porque gracias a ti aprendí la importancia de la responsabilidad, porque siempre procuraste que no me hiciera falta nada, porque creíste en mis sueños y capacidades, por darme siempre muestras de cariño y amor, por las lecciones de vida y porque este logro también es tuyo.

A mi hermano quien fuera mi compañero y cómplice de travesuras y juegos, porque a pesar de nuestras diferencias ambos sabemos que el amor de hermanos es incondicional, por incluirme con tus amigos y porque gracias a ti pude continuar mis estudios de forma ininterrumpida

A mis tíos Adriana y Dany que me tomaron como su propio hijo, por siempre aconsejarme, cuidarme y estar siempre al pendiente de mí. Por siempre procurar que tuviera las herramientas para mi desarrollo académico y sobre todo por su cariño.

A mis padrinos Irene y Víctor, quienes nunca desaprovecharon una oportunidad para aconsejarme y siempre incitarme a no rendirme, porque siempre me ayudaron y nunca dejaron de mostrarme su apoyo. También por inspirarme a afrontar los retos por más difíciles que fueran y por estar siempre orgullosos de mí.

A mis abuelos por mostrarme siempre su cariño, por ser pacientes, a mi abuelita Joaquina por siempre defenderme de la chancla voladora y siempre tratarme de la mejor forma. A mis abuelitos Tavo y Vita por su cariño, consejo, apoyo incondicional y siempre recibirme con los brazos abiertos

A mis tíos, Chus, Olgui, Enereo, Anabel, Paz, Adi, Edi y Eli porque siempre me alentaban a continuar ya que era un ejemplo para sus hijos, por siempre tener las puertas de sus casas abiertas par mi y por siempre mostrarme su cariño en todo momento

A todos mis primos Alo, Diana, Beto, Gualu, Monse, Cintia, Héctor, Ailín, Fiore, Ale, Carlitos, Cristel y Angelito, porque son para mí, mis hermanos mayores y menores, por siempre incluirme, por hacer mi vida más divertida y llena de cariño, experiencias y sustos también.

A mis amigos Carlos y Andrés que literalmente fue gracias a su insistencia que estudie en la universidad de mis sueños. A Luis por ser otro hermano y brindarme una familia cuando estuve solo. A Diana Abril, Raquel, Beni y Elena por el cariño que siempre mostraron, por siempre ser amables y poner ambiente. Y a Arturo por ser siempre honesto y bueno conmigo.

Y a todas las demás personas que no mencioné pero que forman o formaron parte de mi vida, pues gracias a ustedes, pude forjar a la persona que soy ahora.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por desafiarme como persona y gracias a esta, poder alcanzar una educación de calidad. “Por mi raza hablará el espíritu”

A la FES Iztacala por ser mi primera casa durante la carrera, pues realmente viví en sus instalaciones por 4 años. Por brindarme las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional y personal

Al Acuario Juan Luis Cifuentes Lemus, por brindarme la oportunidad para concluir mi formación académica

Agradezco profundamente al profesor Mario por toda su paciencia, por transmitir su conocimiento y experiencia, por apoyarme en situaciones muy difíciles y ser un excelente asesor y persona conmigo.

A los profesores Omar y Jorge del laboratorio de producción acuícola por evaluarme de forma crítica, por su orientación técnica y por sus consejos para ser un mejor profesional. Al profesor Héctor por facilitar los medios para la obtención de becas.

A mis amigos y compañeros del laboratorio, Alonso por su orientación inicial, Adriana por estar dispuesta a ayudarme siempre, por su paciencia y orientación además de ser una excelente persona, Paulina por hacer de los días un poco mas divertidos y Daniel R. por ser un excelente amigo.

” El científico no tiene por objeto un resultado inmediato. El no espera que sus ideas avanzadas sean fácilmente aceptadas. Su deber es sentar las bases para aquellos que están por venir y señalar el camino”

Nikola Tesla

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 8 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| ANTECEDENTES..... | 14 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 15 |
| OBJETIVOS..... | 16 |
| General: | 16 |
| Particulares: | 16 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 17 |
| Organismos..... | 17 |
| Dietas experimentales..... | 17 |
| Cuadro 1. Formulación de dieta experimental a base de proteína vegetal (CPA + CPS). | 18 |
| Prueba de alimentación..... | 19 |
| Parámetros de crecimiento..... | 19 |
| Análisis proximales..... | 19 |
| Análisis estadístico..... | 20 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 21 |
| Cuadro 2: Porcentaje de valores químico proximales de la dieta experimental y control. | 21 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN..... | 24 |
| CONCLUSIONES..... | 31 |
| LITERATURA CITADA..... | 32 |
| ANEXOS..... | 40 |
| ANEXO 1 Taxonomía y representación gráfica de la especie..... | 40 |
| Anexo 2: Porcentaje de proteína por el método de Kjeldahl..... | 41 |
| ANEXO 3: Determinación del porcentaje de micro lípidos (Lu et al., 2008)..... | 42 |
| ANEXO 4: Contenido de Humedad..... | 43 |
| ANEXO 5: Contenido de cenizas..... | 43 |

RESUMEN

Se evaluó el efecto de una dieta experimental formulada con proteína vegetal y una dieta con proteína animal utilizada como control (comercial), en el crecimiento de crías de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentadas durante 90 días. No hubo diferencias significativas ($\alpha = \pm 0.025$) en ganancia de peso (GP), factor de conversión alimenticia (FCA) y tasa de crecimiento específico (TCE). En el modelo de la relación peso-longitud, el valor de “b” determinado fue de 3.20 para el control y 2.99 para el experimental, indicando una posible relación isométrica en el crecimiento, gracias a estos valores se infiere un buen desempeño de la dieta experimental. A pesar de que se observó una tendencia ligeramente mayor en el crecimiento del grupo alimentado con proteína animal, el uso de dietas a base de proteína vegetal es recomendable para el crecimiento de crías de trucha arcoíris considerando las respuestas observadas. Adicionalmente el uso de las dietas a base de proteína vegetal tendría distintos beneficios ambientales y de producción en una industria acuícola creciente.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es definida como la producción de organismos acuáticos en condiciones controladas en al menos una etapa de su vida. Peces, crustáceos, moluscos y algas son los organismos más comunes en los cultivos. Por volumen de producción, respecto al total de animales producidos, los peces abarcan entre el 63-68 % en las últimas dos décadas (FAO, 2016). Este sector de producción de alimentos es el de mayor crecimiento en el mundo, con una tasa de incremento anual promedio de 3.2% entre 1961 y 2013. Esta tasa es incluso mayor que la de la población mundial en el mismo periodo, significando una mayor disponibilidad de producto. Aunado a lo anterior, la demanda de los productos producidos por la acuicultura aumentó, ya que el consumo de pescado aumentó de un promedio de 9,9 kg per cápita en la década de 1960 a 14,4 kg en la década de 1990 y 20.5 kg en 2017, aun así, se espera que la acuicultura cubra la futura brecha global entre la oferta y la demanda de alimentos acuáticos (FAO, 2017).

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en 2018 se registró una producción mundial de pescado de 179 millones de toneladas, de las cuales 82 millones de toneladas con un valor estimado de 250 dólares fueron producidas exclusivamente por la actividad acuícola, siendo mayor como en años anteriores, como en 2016, donde la producción neta por acuicultura alcanzó las 76.5 millones de toneladas. La producción por acuicultura de 2018 constituyó el 46% de la producción total (pesca y acuicultura) a nivel mundial y poco más del 52% del consumo mundial total de pescado en el mismo año, dando esto un panorama amplio de la importancia de esta actividad en la actualidad a nivel mundial (FAO, 2020)

La acuicultura inicia en México en la década de los 60s con la introducción de tilapia al río Papaloapan en Veracruz; pero es en las últimas 2 décadas, que la acuicultura ha tenido un crecimiento notable en México, específicamente cobró mayor relevancia a finales de los años 90s, pues se entendió que esta contribuye de manera importante al desarrollo económico y a la seguridad alimentaria del país, satisfaciendo la creciente demanda de pescados y mariscos (Salazar, 2001).

En 2017 la producción acuícola nacional alcanzó las 400 mil toneladas, con valor de 17 mil 813 millones de pesos. Actualmente las especies de mayor producción acuícola en México son el camarón, tilapia, ostión, carpa y trucha (SAGARPA, 2018). La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*. Walbaum, 1792) es una de las principales especies dulceacuícolas cultivadas en el centro del país, específicamente el estado de México. Su producción se formalizó en el año 1937 y por decreto se creó, en el Estado de México, el centro piscícola en Salazar, que en 1943 se convirtió en el Centro Acuícola “El Zarco” (INAPESCA, 2018). En el 2017 la trucha arcoíris tuvo una producción por cultivo de 9, 499 toneladas de las 14 mil 197 toneladas totales (pesca y acuacultura) producidas en México, representando así el 66.9% de la producción total y un incremento de 28% respecto a la producción del año 2016. Esta especie es considerada una especie de suma importancia para el desarrollo económico de los estados de México, Puebla, Tamaulipas y Veracruz, principales productores del país (SAGARPA, 2017).

La trucha arco iris es un pez eurihalino nativo del Pacífico Norte, aunque hoy en día podemos encontrarla en todos los continentes excepto en la Antártida, gracias a su uso para la producción acuícola, su distribución natural abarca parte de la península de Kamchatka en Rusia y en desde Alaska hasta el noroeste de México (Naranjo, 2016), para este último, específicamente en los estados de Baja California, Sinaloa, Sonora y Chihuahua. Gracias a programas de siembra y repoblación también podemos encontrarla distribuida en cuerpos de agua naturales de zonas templadas en los estados de Tamaulipas, Coahuila, Jalisco, Hidalgo, Morelos, Guanajuato, Oaxaca, Nuevo León y Veracruz (Alcocer-García, 2017).

Al igual que otros miembros de la familia Salmonidae, la trucha arcoíris es un depredador cuya dieta en vida silvestre se basa en insectos acuáticos y terrestres (Cada et. al.,1987). Es un organismo con cuerpo alargado, fusiforme. Sin espinas dorsales, con 60-66 vertebras. Presenta 2 aletas pectorales, aleta dorsal con 12 radios, 2 aletas pélvicas, aleta adiposa, aleta anal con 10-12 radios y caudal con 19 radios. Tiene manchas negras en todo el cuerpo y una coloración verde olivo en la zona dorsal; a los laterales se pueden observar destellos de colores más claros; además cuenta con una franja iridiscente que refleja la luz y es gracias a esta que el organismo obtiene su nombre. Vive en aguas de

lagos y arroyos donde la temperatura no rebase los 21°C o sean menores a los 9 °C. muy pocos sedimentos suspendidos y una oxigenación no menor a 5 mg/L, por lo general a altitudes mayores a los 1500 m. s. n. m. (FAO, 2009).

Su cultivo es extenso a nivel mundial. Las hembras pueden producir hasta 2.000 huevos por kg de peso corporal. Sus huevos miden entre 3 y 7 mm de diámetro. Una vez ocurrida la eclosión, los alevines se alimentan gracias a sus reservas de vitelo por un corto periodo de tiempo. En condiciones de cultivo, una vez absorbido el vitelo, se inicia una alimentación a base de piensos elaborados con ingredientes naturales. Las condiciones en las que se cultivan a estos organismos son diversas, por ejemplo, estanques en tierra, instalaciones en hormigón o fibra e incluso jaulas en agua dulce o salada. La trucha arcoíris demora aproximadamente 10 meses desde la eclosión hasta alcanzar un tamaño comercial de 250 a 300 g (APROMAR, 2020).

Además de su importancia económica, otro factor importante es su valor nutrimental. El pescado producido por el sector acuícola es de rápido crecimiento y rico en proteínas, contienen micronutrientes y ácidos grasos esenciales, que no pueden ser fácilmente sustituido por otros productos alimenticios. A comparación del ganado bovino, porcino y otros, en la carne del pescado hay menos colágeno presente, haciéndola más fácil de digerir y un menor contenido graso que los categoriza como magros y semigrasos, esto implica un menor contenido proporcional de colesterol haciéndolos más saludables que otras fuentes de proteína animal (Acuña, 2013). En el particular caso de la trucha arcoíris, sus propiedades nutricionales han sido estudiadas y se ha encontrado que la digestibilidad de la proteína de trucha varía de un 93 a 100%, haciendo la proteína de trucha arcoíris tan buena o incluso mejor que la proteína de otras carnes de mayor consumo. Los niveles de lípidos corresponden a los de peces bajos en grasas, específicamente 2.5% de grasas en promedio, situando este producto cárnico como uno de los más sanos del mercado (García, 2004).

Una de las principales áreas de oportunidad para el crecimiento del cultivo de trucha arcoíris y la acuicultura en general ha sido encontrar sustitutos adecuados para la elaboración de nuevos alimentos comerciales. Esto debido a que el aumento esperado

de la población a nivel mundial, elevará la demanda de pescado, causando así menor disponibilidad de insumos necesarios para elaborar alimentos usados en acuicultura. La harina de pescado y aceite de pescado por ejemplo son hasta ahora, los principales insumos para la elaboración de dietas comerciales convencionales, ambos provenientes de la pesca por captura, que actualmente está a su máximo aprovechamiento. Si esto continúa en la misma dirección, los precios de la producción acuícola y sus derivados aumentarán haciéndola poco rentable para los productores y menos accesible para los consumidores (Hardy, 2010).

Las alternativas al uso de estos insumos tradicionales, son las harinas provenientes de productos de origen vegetal (Burrels, 1999). Sin embargo, estos ingredientes contienen altos niveles de compuestos conocidos como anti-nutrientes y son parte integral de las semillas como moléculas estructurales (fibras), de almacenamiento (ácido fítico) y de defensa (las lectinas) (Krogdahl et al., 2010). Estos componentes generan problemas en el crecimiento, así como en distintas respuestas anómalas en los organismos (Francis et al., 2001). Las fuentes de proteína que más han sido estudiadas hasta ahora son, la harina soya y mezclas de harina basadas en glútenes de maíz (GM) y gluten de trigo (GT), esto debido a su contenido de proteínas, perfil de aminoácidos, valor y su disponibilidad en el mercado, aunque estos contienen alto contenido de carbohidratos y ácido fítico por lo que su uso es limitado (Alcocer, 2017). Para disminuir los efectos negativos de los anti-nutrientes, se han utilizado productos refinados, provenientes de harinas vegetales, los más prometedores son los concentrados de proteína (Hardy, 2010).

Los concentrados de proteína de cereales y semillas oleaginosas contienen altos niveles de proteína, además de concentraciones bajas de anti-nutrientes y se ha reportado que los concentrados de proteína no causan enteritis intestinal en salmónidos (Refstie et al. 2001; Hardy, 2010). Dependiendo del procesamiento el concentrado de proteína de soya (CPS) puede alcanzar hasta un 70% de contenido proteico (Vielma, 2010). Otro de los concentrados de proteína importantes y con resultados proteicos aún más alentadores que el CPS es el concentrado de proteína de arroz (CPA) el cual puede alcanzar hasta un 75% de contenido proteico muy similar a los niveles encontrados en la harina de

pescado (Palmegiano, 2006), lo que hace excelente estas fuentes de proteína para la trucha arcoíris debido a sus requerimientos nutricionales.

A pesar de que existe información sobre como dietas a base de proteína de origen vegetal influyen en el crecimiento en trucha arcoíris (Zhou et al., 2017). Aún no se estandariza una formulación de dieta específica, que otorgue resultados aceptados de forma general para la producción en acuicultura, por lo que es importante continuar con estas líneas de investigación para generar un mayor conocimiento en el tema.

ANTECEDENTES

- Tusche et. al. (2012) utilizando dietas isoenergéticas e isoproteicas elaborada con una mezcla de gluten de trigo (GT) y concentrado de proteína de papa (CPP), reemplazando el 56% de harina de pescado, observaron que la respuesta respecto a la composición corporal y análisis sanguíneos en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), fue significativamente similar a la encontrada en organismos alimentados con dietas elaboradas con fuente de proteína 100% de harina de pescado, atribuyéndolo a un perfil correcto de aminoácidos esenciales en la mezcla utilizada.
- Craft et.al. (2016) encontraron que las dietas compuestas con proteínas vegetales, entre ellas concentrados de proteína de soya y concentrado de proteína de maíz, pueden promover tasas similares de crecimiento de la trucha arcoíris y que la cantidad proteica en músculo no varía en gran medida a comparación de organismos alimentados con dietas convencionales elaboradas a base de harina de pescado.
- Longoria et. al. (2018). Encontraron que con una inclusión máxima del 50% de gluten de maíz (GM) como fuente proteica en dietas para trucha arcoíris, las respuestas de los peces como la tasa de crecimiento, la cantidad de proteína y lípidos en tejidos son muy similares a aquellos alimentado con una dieta a base de proteína de pescado.
- Trujano (2018) encontró que dos dietas experimentales con sustitución de 100 y 90% de proteína animal por proteína de origen vegetal (concentrado de proteína de arroz y soya, GM y GT), presentaron resultados muy similares entre sí, en la cantidad de proteína en músculo de los organismos y tasa de crecimiento específico. Indicando que la combinación entre proteínas de distinto origen (animal + vegetal) tienen resultados similares a dietas con inclusiones del 100% de proteína de origen vegetal.

JUSTIFICACIÓN

La producción acuícola es una fuente importante de alimento. Esta tiene potencial de mayor crecimiento pues las características naturales de México, brindan una posición estratégica que le permitirá desarrollar aún más este sector de producción y convertirse en uno de los líderes mundiales en la producción acuícola tanto de agua dulce como marina (Rosado y Arróniz, 2014). El cultivo de trucha una de las actividades económicas y sociales más importante en el centro del país (INAPESCA, 2018).

Sin embargo, de acuerdo a Martínez et al. (2009), la actividad acuícola es poco sustentable y con efectos negativos en el ambiente, por el ritmo de extracción de insumos tradicionales para formulación alimento usados en la producción acuícola y las descargas de desechos con altos contenidos de fósforo (P) y nitrógeno (N), en los cuerpos de agua adyacentes a las granjas piscícolas. Para cultivo de trucha, por cada tonelada de producto fresco se obtienen 50 kg de P y 6 kg de N (Jover, 2000). Es importante, por lo tanto, considerar las repercusiones ambientales mencionadas para mantener el potencial de crecimiento de esta actividad, en el futuro cercano. Una de las opciones para mitigar el impacto ambiental, es el uso de alimentos con proteína vegetal, pues su producción permite la recuperación de las poblaciones de organismos aprovechadas durante años, para la obtención de insumos de alimentos comerciales y tiene un menor impacto en los cuerpos de agua por la disminución en descargas de P, en adición, los costos de producción y venta de los alimentos de origen vegetal mantendrán un precio estable a comparación del aumento que se prevé en los precios de los alimentos comerciales.

Para lograr el desarrollo del sector acuícola en México es indispensable contar con investigación científica y tecnológica en el tema, que asegure y sienta las bases para la producción (Rosado y Arroniz 2014). Por lo cual este trabajo pretende contribuir en el conocimiento de la respuesta fisiológica de organismos acuáticos como la trucha, con el consumo de nuevas dietas formuladas, que puedan satisfacer la demanda del producto, de una forma sustentable sin afectar de forma negativa el crecimiento u otros parámetros fisiológicos.

OBJETIVOS

General:

- Evaluar el efecto de una dieta con alto contenido de proteína de origen vegetal en el metabolismo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Particulares:

- Determinar el contenido proximal de nutrientes (proteínas y lípidos) de la dieta experimental y control
- Determinar la ganancia de peso de crías de trucha arcoíris a lo largo de la prueba de alimentación
- Determinar la tasa de crecimiento de crías de trucha arcoíris
- Determinar el factor de conversión alimenticia de crías de trucha arcoíris
- Determinar el tipo de crecimiento con el modelo peso-longitud

MATERIALES Y MÉTODOS

Organismos

Se trabajó con crías de trucha arcoíris, provenientes del Centro de Producción Acuícola “El Zarco” ubicado en el Estado de México, México. Se trasladaron al Laboratorio de Producción Acuícola de la FES Iztacala y se aclimataron por 14 días en tanques de 500 litros a una temperatura de $17\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, alimentadas con una dieta comercial.

Dietas experimentales

Se utilizó una dieta experimental sustituyendo el 100% de la proteína animal a base de harina de pescado, por una mezcla de proteínas vegetales a base de concentrado de proteína de arroz (CPA) + concentrado de proteína de soya (CPS) en proporción 1:1 garantizando el 40% de proteína cruda, con la formulación descrita en el cuadro 1, siguiendo los requerimientos nutricionales de trucha arcoíris (national research council, 2011).

Cuadro 1. Formulación de dieta experimental a base de proteína vegetal (CPA + CPS).

| Ingredientes | (g/kg dieta) |
|--------------------------------------|--------------|
| Concentrado proteína de arroz | 200 |
| Concentrado proteína soya | 200 |
| Gluten de maíz | 150 |
| Aceite de pescado | 100 |
| Lecitina de soya | 50 |
| Dextrina | 100 |
| Mezcla vitaminas y minerales | 40 |
| Gluten de trigo | 50 |
| Alfa-celulosa | 110 |

Prueba de alimentación

Se usó un diseño experimental 2X3. Con 1 grupo experimental y un control, utilizando 3 unidades experimentales por tratamiento. Para cada unidad experimental se utilizaron 15 sujetos experimentales con una talla promedio de 2 g y 3 cm. Al grupo experimental se le suministró la dieta a base de proteína vegetal y al control, la dieta comercial con 45% de proteína. Fueron alimentados diariamente considerando una relación del 6% de la biomasa total del tanque, en 2 raciones; se realizaron biometrías de los organismos cada 10 días, ajustando la ración de alimento respecto a la nueva biomasa por tanque. La prueba de alimentación tuvo una duración de 90 días y al final de esta, se determinaron los parámetros de crecimiento a lo largo de la prueba. Se monitoreo diariamente a las 10 am y 4 pm la temperatura para mantenerla en 17 ± 2 °C.

Parámetros de crecimiento.

Se determinó el porcentaje de ganancia en peso, factor de conversión alimenticia y la tasa de crecimiento específico de acuerdo a los modelos de Lupatsch & Kissil, 1998:

Ganancia en peso (GP (%)) = $[(\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{peso inicial}] \times 100$;

Factor de conversión alimenticia (FCA)= $\text{Alimento ingerido (g)} / \text{Ganancia de peso (GP)}$.

Tasa de crecimiento específico se determinará por el modelo $W = ae^{bt}$

Donde: a= factor de condición b= tasa de crecimiento específico W= peso t = tiempo e = constante

Modelo Peso-Longitud $W = aL^b$

Donde: W: es el peso del pescado en gramos L: es la longitud de peces en centímetros a y b son constantes determinadas mediante regresión lineal.

Análisis proximales

Se determinó el contenido de proteínas, micro lípidos, humedad y cenizas de las dietas utilizadas. El contenido de proteínas se llevó a cabo siguiendo las técnicas de Kjeldahl (1983); El contenido de micro lípidos utilizando la técnica de extracción por Cloro-Metanol (Lu. et al., 2008).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de Mann-Whitney para evaluar si existían diferencias entre el grupo experimental y el control usando $\alpha = \pm 0.025$.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Cuadro 2, se presentan los valores del contenido de lípidos y proteína de la dieta experimental y control donde observamos una diferencia del 7% siendo la dieta control la que más proteína tiene. En el cuadro 3 se presentan valores de los promedios de GP, TCA y TCE por grupo donde se observa una tendencia a mayor crecimiento y mejor eficiencia de conversión de alimento para el grupo control. A pesar de encontrar esa tendencia el análisis estadístico mostró que no existe una diferencia significativa ($\alpha = \pm 0.025$) entre ambos grupos.

| Cuadro 2: Porcentaje de valores químico proximales de la dieta experimental y control. | | |
|---|-------------------|------------------------|
| | Dieta control (%) | Dieta experimental (%) |
| Proteína | 49.5223 | 42.9410 |
| Lípidos | 13.1881 | 9.6108 |
| Humedad | 4.50 | 8.24 |
| Cenizas | 5.56 | 11.11 |

En las figuras 1 y 2 pueden observarse de manera gráfica los valores de GP y FCA, aquí se aprecia las diferencias entre estos parámetros para ambos grupos.

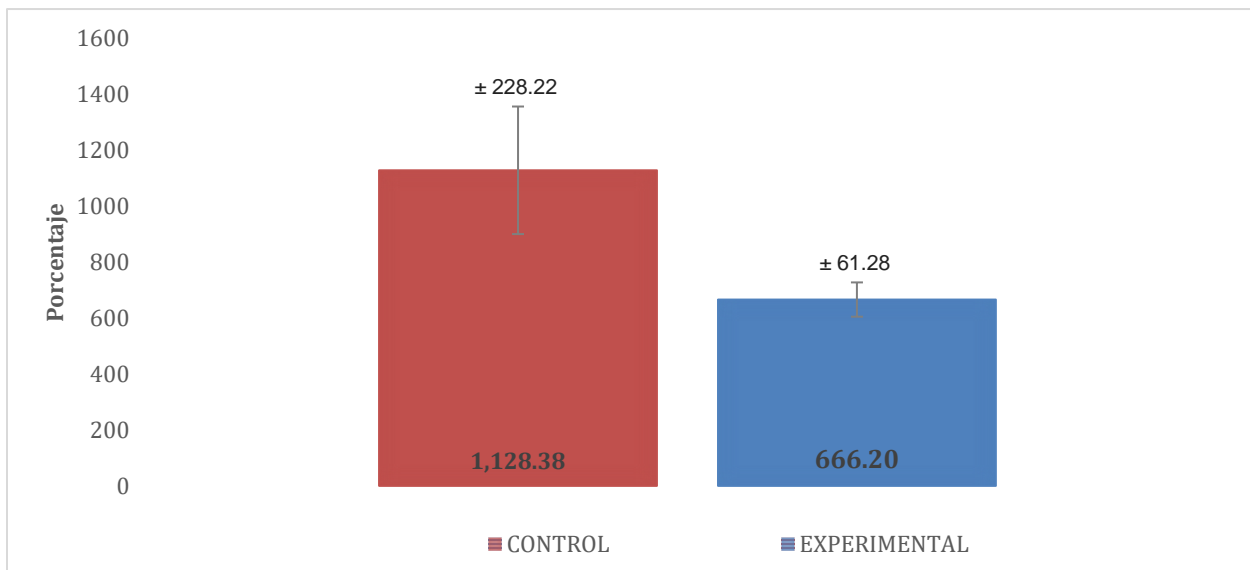


Figura 1: Porcentaje promedio de la ganancia de peso (\pm desviación estándar) en crías de trucha alimentadas con dieta control y experimental durante 90 días de prueba.

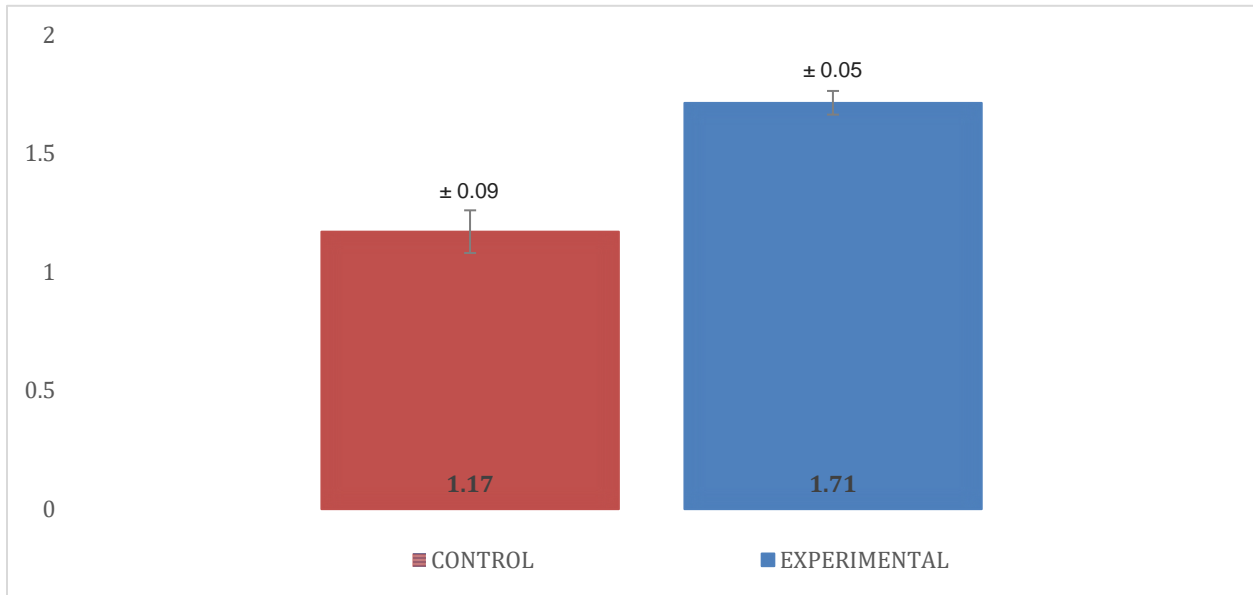


Figura 2: Factor de Conversión Alimenticia (\pm desviación estándar) en crías de trucha alimentadas con dieta control y experimental durante 90 días de prueba.

En la figura 3 se observa las diferencias en el crecimiento a lo largo de los 90 días de experimento. Es claro que ambos grupos tenían un crecimiento muy similar en los primeros 50 días de la prueba de alimentación, pero a partir del día 60 la diferencia de crecimiento comenzó a aumentar y así continuó hasta el final de la prueba

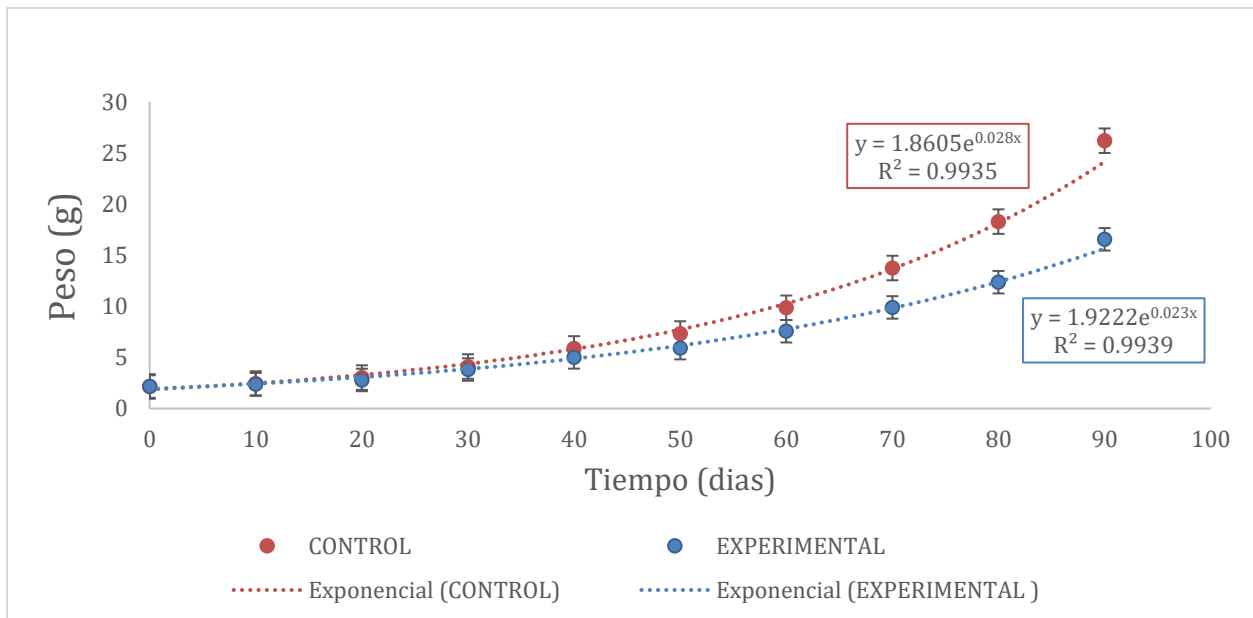


Figura 3: Gráfica de crecimiento promedio de ambos grupos (control y experimental) de crías de trucha arcoíris durante los 90 días de prueba. La Tasa de Crecimiento Específico (TCE \pm desviación estándar) fue de 0.028 ± 0.0022 para el control y 0.023 ± 0.0009 para el experimental

En las figuras 4 y 5 se observa la correlación de peso-longitud ($W = aL^b$), el cual se expresa de la siguiente forma $W = 2.1021 L^{3.2091}$ en crías de trucha arcoíris donde $b = 3.20$ para el grupo control. Para el grupo experimental se expresa como $W = 1.9288 L^{2.99}$ en crías de trucha arcoíris donde $b = 2.99$

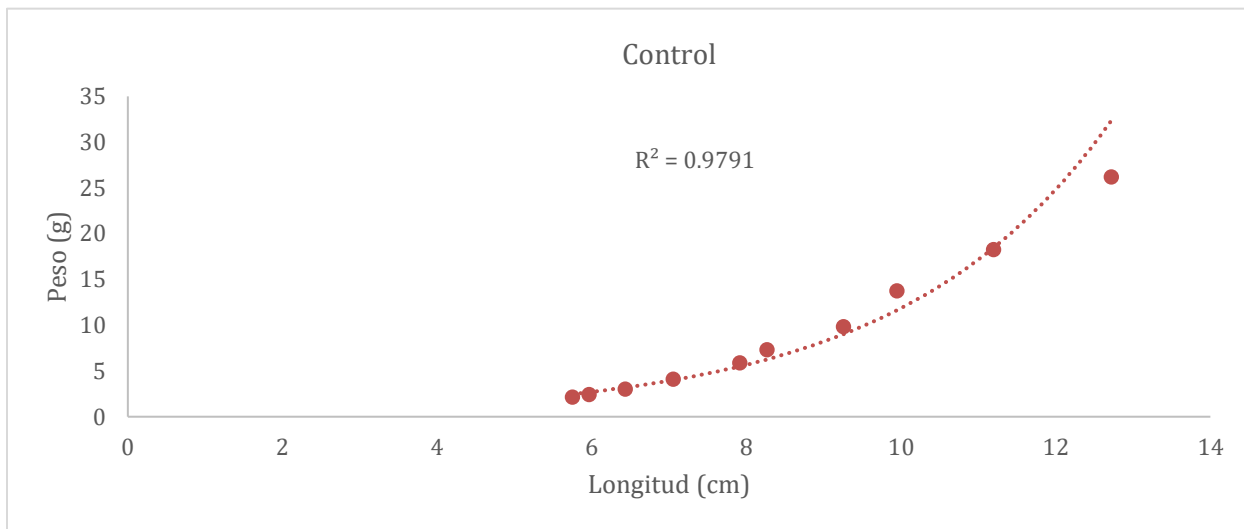


Figura 4: Relación peso longitud de crías de trucha arcoíris alimentadas con la dieta control.

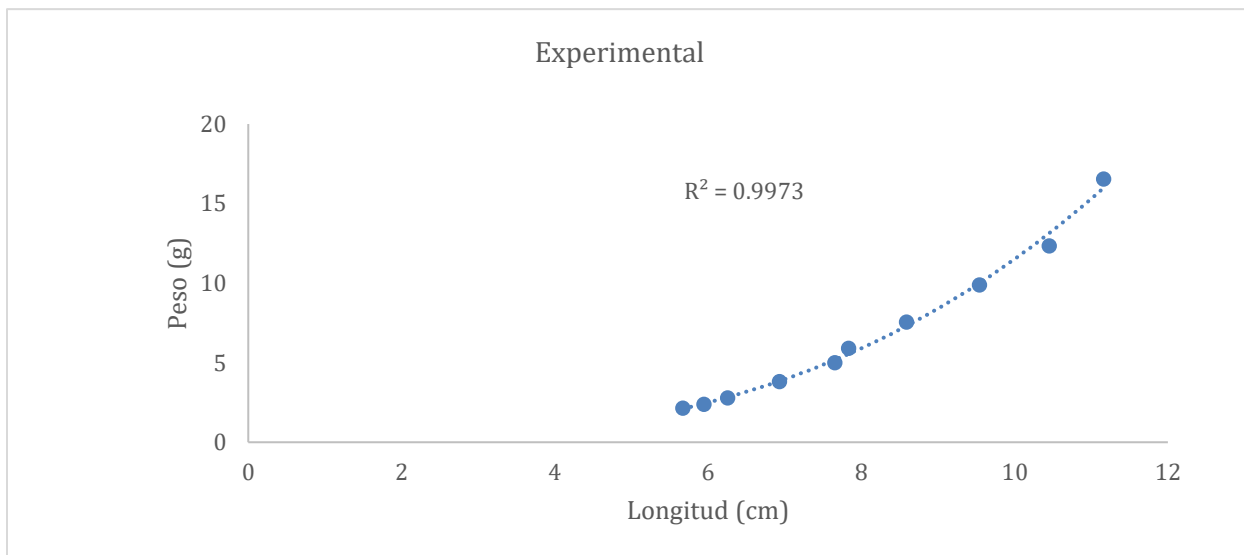


Figura 5: Relación peso longitud de crías de trucha arcoíris alimentadas con la dieta experimental.

ANALISIS Y DISCUSION

Los resultados de este trabajo muestran que las crías de trucha arcoíris alimentadas con una dieta a base de concentrados de proteína vegetal al 100%, tienen las mismas respuestas ($\alpha = \pm 0.025$) que aquellas alimentadas con una dieta comercial a base de proteína animal con respecto a la tasa de crecimiento, ganancia en peso y factor de conversión alimenticia.

El FCA, si bien estadísticamente como ya se mencionó hay una tendencia a un mejor rendimiento por parte del control, no hubo diferencias significativas, en ambos casos se registraron valores por debajo de 2, que, en términos de producción acuícola, se considera un valor aceptable. Estando la dieta control más cercana a 1, nos sugiere que debe trabajarse en encontrar aditamentos que incrementen la eficiencia de la dieta experimental. Resultados similares se mostraron en el trabajo de Yang. et al. (2010), quien con inclusiones de hasta 80% de harina de soya y 15% de proteína de maíz, obtuvieron valores de conversión de 1.56 para su grupo experimental y 1.29 para el control, similar a los valores obtenidos con nuestros organismos (1.7 para el grupo experimental y 1.1 para el control). Esta ligera diferencia entre nuestros resultados pudo deberse a la adición de fitasa en sus dietas, la cual se ha demostrado otorga mejores resultados en la eficiencia alimentaria (Yoo et al. 2005).

Respecto a las TCE obtenidas, fueron de 0.028 en el grupo control y de 0.023 en el experimental como se observa en los exponentes de la ecuación de cada curva de la figura 3, en esta grafica también se observa un comportamiento muy similar durante los primeros 50 días a partir de los cuáles se registra una diferencia ligeramente superior en el grupo control, comenzando una tendencia exponencial. Los resultados obtenidos durante el tiempo trabajado, coinciden con los de Cruz et al. (2011), quienes utilizaron diferentes porcentajes de sustituciones de dietas con harina de pescado por harina de soya como fuente proteica, esto para dietas en juveniles de trucha arcoíris; encontraron que con inclusiones de hasta el 75% de harina de soya, la tasa de crecimiento específico es de 0.028 comparado con una dieta comercial de 0.023 siendo una diferencia no significativa; esta misma tendencia a un mayor crecimiento con el grupo control es

observada en nuestros resultados. Sin embargo, para sustituciones mayores al 75% de proteína de origen animal por vegetal, no es recomendable el uso de un único ingrediente sin suplementación, pues los resultados de este mismo artículo (Cruz et al. 2011), mostraron un crecimiento significativamente menor en el grupo experimental comparado con el control. Una posible solución en este ámbito son combinaciones de proteínas de distinto origen vegetal, por ejemplo, en el trabajo de Zhang et al. (2012) combinaron CPP + concentrado de proteína de canola (CPC), obteniendo resultados incluso mejores en GP para el grupo experimental (156% para el control y 166% para el experimental) pero coincidiendo en nuestros resultados al no existir diferencia significativa tampoco en la GP. Esto demuestra que, para inclusiones de proteína de origen vegetal en altos porcentajes, la combinación diferentes proteínas vegetales pueden otorgar mejores resultados que dietas con una sola fuente de proteína de origen vegetal o animal.

Por su parte Tusche (2012), al hacer combinaciones entre el concentrado de proteína de papa (CCP) y Gluten de Trigo (GT) para reemplazar en un 56% a la harina de pescado encontró que no existían diferencias significativas en sus dietas experimentales. Esto se atribuyó a que esta combinación contenía niveles adecuados de aminoácidos y a la calidad del CPP el cual era muy bajo en glicoalcaloides que son metabolitos secundarios propios de la planta de la cual se obtiene la materia prima. Estos metabolitos secundarios que pueden presentarse en menor o mayor medida dependiendo de la calidad del concentrado, estos pueden tener impactos notables en el desarrollo de los organismos, lo cual se demuestra en el trabajo de Tusche en (2011) que utilizó dietas con una sustitución del 50% de harina de pescado por CCP en las cuales el contenido de glicoalcaloides fue elevado, dando como resultado diferencias significativas entre las dietas experimentales y el control, siendo este último grupo el de mejores resultados para el desarrollo de trucha arcoíris.

Para el caso del concentrado de proteína de soya (CPS), Mambrini et. al. (1999) realizó una prueba de alimentación en juveniles de trucha arcoíris, usando dietas con sustitución de harina de pescado por CPS en porcentajes de 0, 50, 75 y 100% además de 2 dietas con 100% de CPS como fuente proteica, suplementadas con metionina. La digestibilidad de las dietas experimentales era muy buena con un 92% de proteína digestible. Mambrini

no encontró diferencias significativas de los parámetros de crecimiento ni conversión alimenticia entre las dietas suplementadas y no suplementadas, pero reportó un mayor crecimiento en los organismos alimentados con la dieta de un 50% de CPS como fuente proteica gracias a una mayor ingesta. Inclusiones mayores, mostraron un menor crecimiento, menor digestibilidad y uso de lípidos, esto fue atribuido a los metabolitos secundarios encontrados en el CPS y a una menor ingesta de la dieta.

Por su parte Gasco et. al. (2005) quienes utilizaron inclusiones de 20, 35 y 53% de concentrado de proteína de arroz (CPA) en sustitución de harina de pescado e inclusiones pequeñas de harina de maíz. Encontraron que las combinaciones otorgaron un mayor crecimiento a menor inclusión de CPA y esto podría deberse a que en el análisis de aminoácidos es evidente una menor cantidad de aminoácidos esenciales a mayor inclusión de proteína vegetal. Lo cual es similar a lo obtenido por Mente (2003) quien realizó sustituciones de 0, 16,32, 48 y 64% de harina de pescado por Gluten de Maíz (GM) que observaron que, a mayores concentraciones de GM, existía una menor concentración de aminoácidos como treonina y lisina, los cuales son aminoácidos esenciales. Otro caso similar se presenta en el trabajo de Carrillo-Longoria (2017), que cuando mayor era la inclusión de GM, menor el crecimiento. A pesar de que en algunos estudios la diferencia no fue significativa, la carencia de estos aminoácidos esenciales a largo plazo podría traer consecuencias notables en el desarrollo de los organismos.

El factor de disponibilidad de aminoácidos esenciales y otros nutrientes es de gran importancia para un correcto desarrollo de los organismos. Por ejemplo, la lisina es uno de los aminoácidos esenciales limitantes en los ingredientes utilizados para la elaboración de alimentos de origen vegetal y también es el que se encuentra en mayor medida en la carcasa de los peces por su deposición en el músculo (Abimorad et al. 2010). Se ha observado que niveles insuficientes en trucha tiene repercusiones en disminución de la síntesis y deposición de colágeno, afectando la calidad cárnica del organismo. Niveles adecuados de este aminoácido mejora la supervivencia y la tasa de crecimiento, previene la erosión y deformidad de las aletas dorsal, pectoral y ventral y es importante para mantener el balance electrolítico en los peces (Dairiki et al. 2013). Otro aminoácido esencial es la metionina que también es otro de los aminoácidos limitantes

en la formulación de dietas de origen vegetal. Este aminoácido está implicado en procesos como la síntesis de cisteína y taurina (Li et al. 2008). Es por lo anterior que debe tenerse en cuenta sobre todo en la experimentación de nuevas dietas, que se cubran los perfiles adecuados de aminoácidos para no afectar de forma negativa el crecimiento de los organismos de interés. Una buena elección de fuentes de proteína como se muestra en los resultados del trabajo de Tusche y colaboradores (2012) allí las deficiencias de aminoácidos esenciales son nulas debido a que los contenidos de estos en el CPP, y GT son incluso mayores gramo por gramo que a las cantidades encontradas en harina de pescado, aunque la metionina sería el aminoácido limitante para el concentrado de proteína (Mambrini, 1999).

Existen pocos trabajos con formulaciones iguales a la utilizada aquí, hay un par destacables, el de Alcocer-García (2017) y Trujano (2018). Gracias sus trabajos previos en donde las diferencias en el crecimiento de juveniles con Alcocer y Crías de trucha arcoíris con Trujano no fue significativamente diferente, que podemos inferir que los valores de aminoácidos esenciales entre otros nutrientes, cumplen con los requerimientos generales para trucha arcoíris en estas etapas, por lo cual podemos suponer que la deficiencia de aminoácidos no fue el factor que marcó un menor crecimiento en nuestro grupo experimental. Por su parte, los requerimientos de lípidos para trucha arco iris pueden variar dependiendo de su etapa reproductiva y edad. Para nuestros organismos una inclusión de 10% de aceite de pescado fue suficiente para proveer los ácidos grasos esenciales para el correcto funcionamiento del organismo (González, 2011).

Analizando sus trabajos de forma detallada, fue Alcocer-García (2017) quien encontró una tendencia a un mayor crecimiento con la dieta experimental, contrastando con nuestros resultados. Estas diferencias en los resultados pueden deberse a distintos factores, entre los cuales destacan, cantidad de proteína en la dieta o la diferencia en el tamaño de los organismos para el inicio de la prueba de alimentación. Entrando en contexto, Alcocer-García (2017), contaba con una mayor cantidad de proteína en su dieta experimental que en su dieta control (11% de diferencia), en contraste de nuestros resultados que arrojaron mayor porcentaje proteico en la dieta comercial (7% más),

aunado a que el inicio de su prueba de alimentación fue con organismos con un peso promedio de 7.5 gramos y los organismos del presente experimento no rebasaban los 2.1 gramos, implicando esto una diferencia de mayor a 3.5 veces el peso de los organismos pueden ser algunas de las razones de la diferencia en los resultados. Las etapas tempranas de desarrollo son un factor importante, pues aquí, los organismos son muy delicados ante cualquier cambio o requerimiento nutricional no proporcionado de forma adecuada y esto puede interferir en el desarrollo a futuro, como podría ser el caso en nuestros organismos; los cuales posiblemente requieren para su etapa inicial de alimentación con dietas a base de vegetales, una formulación ligeramente diferente o simplemente esperar a que ganen un poco más de peso para que sus parámetros de crecimiento fueran más cercanos o mejores a los del grupo control. Esta idea puede respaldarse con los resultados obtenidos por Trujano (2018), quien utilizó la misma formulación de dieta a la usada en este trabajo y al igual que nosotros encontró que no hay diferencia significativa para los parámetros de crecimiento medidos en nuestro experimento. También coincidimos en una notable tendencia a que el grupo control obtuviera mejores resultados finales en el crecimiento y en un desarrollo similar de ambos grupos hasta la mitad de la prueba de alimentación; después de esta primera mitad, empiezan a ser más evidentes las diferencias en el desarrollo de los organismos (Figura 3). Otros factores similares fue la talla promedio de los organismos de Trujano, ya que, al iniciar la prueba, el peso de sus organismos era menor a 1 gramo (una etapa de desarrollo temprano más parecida a la nuestra que a la de Alcocer-García). Con factores nutricionales muy similares a los manejados y aunado a que existen aún áreas desconocidas en nutrición en etapas muy tempranas de trucha arcoíris (González, 2011), esta diferencia en el crecimiento de los diferentes grupos de estos trabajos estrechamente relacionados, apunta a la posibilidad de que existan requerimientos aún más específicos de los que ya se conocen en el desarrollo temprano de los organismos, por esto es importante continuar con la investigación en el área.

Respecto al modelo de la relación Peso-Longitud, el valor de “b” determinado fue de 3.20 para el control y 2.99 para el experimental, indicando una relación isométrica con lo que se infiere un buen desempeño de la dieta experimental, además de coincidir con lo que establece Pannel (1996), que en los salmonidos, el valor de b puede encontrarse 2.5 y

3.5, y generalmente entre 2.8 y 3.2 de acuerdo a Sharma (2015), este indicador de la relación peso-longitud es útil en la producción acuícola debido a que ayuda a estimar el peso de los peces a partir de su longitud, comparar la morfología de poblaciones pertenecientes a diferentes regiones y compararlas con otras (Sharma, 2015). La relación peso longitud puede ser (alométrica ($b \neq 3$) o isométrica ($b = 3$)). Si es isométrico indicaría que la forma, su relación con su peso y aspecto no variarían a lo largo del tiempo de medición o mantuvieron un balance durante este, pero esto no ocurre con frecuencia en la vida de los organismos debido a la influencia de otros factores, como las distintas velocidades de sus etapas de desarrollo, ganancia de peso por etapas reproductivas, factores fisicoquímicos que generen estrés y limiten el crecimiento o una dieta no adecuada para el organismo. Es aquí cuando se presenta un crecimiento alométrico, y el pez tiende a un aumento de peso más lento ($b < 3.0$) o más rápido (> 3.0) en relación con el aumento de su longitud (Panell, 1996). Nuestros datos se ven respaldados con los valores obtenidos de GP de nuestro trabajo, pero de nuevo, a pesar de la ligera tendencia, las diferencias no son significativas ($\alpha = \pm 0.025$) entre ambos grupos, lo cual hace de el uso de nuestra dieta experimental viable.

Otro problema que se registra en la actividad y que como ya se mencionó, es importante a tomar en cuenta para el futuro desarrollo de esta, es el alto nivel de desechos a causa de la actividad acuícola, entre los más comunes son P y N, los cuales pueden ser más elevados cuando no hay un buen balance de nutrientes para la dieta de los organismos, lo que ocasiona un mayor costo en la producción y una alta contaminación de los cuerpos de agua por los desechos nitrogenados (Abimorad, 2009). En 2011 estas descargas superaron las 17 toneladas de P y 6 de N, sólo en el estado de Hidalgo (Amaro, 2012). De los organismos acuáticos los carnívoros como la trucha arcoíris son de los que más de estos desechos producen (Hernández, 2004). Las dietas a base de proteína de origen vegetal ofrecen ventajas en este aspecto sobre las dietas convencionales. Esto queda demostrado en un estudio realizado por Hernández y colaboradores (2004) quienes evaluaron la retención en tejidos y descarga en el medio de P y N en trucha arcoíris. Encontraron que los organismos alimentados con la dieta a base de proteína de origen vegetal obtuvieron un 56% de retención de fósforo en comparación con los 36% de

retención en en los organismos del grupo control. Para el caso del N, los valores de retención en el control fueron de 37% y para el grupo experimental fueron de 36.5% no habiendo diferencia significativa. Para la excreción de estos compuestos, el valor del control fue de 9.4 kg/t de P y el grupo experimental mostró valores de 3.9 kg/t, la excreción de N fue igual de 45 kg/t para ambos grupos, por lo cual la menor excepción que P en estas proporciones podría reducir su excreción en más del 50%. Similares resultados obtuvieron Yang y colaboradores (2011), que con dietas de origen vegetal (harina de soya) obtuvo mayor retención de P y menor excreción de este, en comparación a su grupo control alimentado con dietas convencionales. Mostrando así una opción que ayude a mitigar una parte de la problemática ambiental de la actividad, pudiendo dar un valor agregado a estos organismos, haciendo más rentable la producción, ya que dietas como la nuestra que usan concentrados de proteína que son productos con un mayor procesamiento, pueden igualar los precios de las dietas comerciales a base de proteína de pescado.

La información consultada en el ámbito de la sustitución del uso de proteína de origen animal por la vegetal, es muy variable. Sus resultados están sujetos a factores como los procesos de extracción de proteínas, tipos de dietas comerciales, etapas de desarrollo, variaciones climáticas y como demostró Austreng (2011), la variabilidad de las respuestas de truchas de distinto origen ante un mismo estímulo es una realidad. Sin embargo y como ya hemos mencionado anteriormente, las dietas con inclusiones grandes de proteína de origen vegetal, permitirán que la acuicultura continúe su crecimiento, por lo que la investigación en esta área debe continuar y cubrir estos puntos que aún son desconocidos en el desarrollo de organismos acuáticos.

CONCLUSIONES

Las dietas utilizadas tuvieron contenidos proximales muy parecidos, en el caso de la dieta control, obtuvo un 49.1% de proteína y 13% de lípidos y la dieta experimental 42.9% de proteína y 9.6% de lípidos.

El porcentaje de tasa de crecimiento específico tuvo valores muy parecidos en ambas dietas. En el control de 0.028 y la experimental de 0.023

La ganancia en peso fue de 1128% en dieta control y de 666% en dieta experimental, a pesar de observarse valores diferentes, no hubo diferencias significativas.

El factor de conversión alimenticia en la dieta control fue en el que se observó a un valor más cercano a 1 con 1.1, la experimental brindó 1.7, siendo ambos casos valores inferiores a 2, lo que las hace de buena calidad para la producción acuícola.

Los valores de b obtenido del modelo peso-longitud (3.2 para control y 2.9 para experimental) sugieren un tipo de crecimiento isométrico y están dentro de los esperados para trucha arcoíris indicando en general una buena asimilación de las dietas por los organismos.

En ninguno de los casos hubo diferencia significativa, por lo cual se considera de buena calidad a la dieta experimental usada en este experimento.

LITERATURA CITADA

Abimorad, E.; Favero, G. Squassoni, Carneiro, D. (2010). DIETARY DIGESTIBLE LYSINE REQUIREMENT AND ESSENTIAL AMINO ACID TO LYSINE RATIO FOR PACU *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition* 2010 16; 370 – 377.

Acuña Reyes, M. J. (2013). PECES DE CULTIVO, COMPOSICIÓN, COMPARACIÓN CON CARNES DE CONSUMO HABITUAL. VENTAJAS DEL CONSUMO DE PESCADOS. *Diaeta*. Buenos Aires Argentina; 31 (143): 26-30. .

Alcocer-García J. R. (2017). PROTEÍNAS VEGETALES EN LA DIETA DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*) OBTENIDAS DE UNA GRANJA COMERCIAL. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Amaro, P. V., Martínez, O. C., Flores, G. P., Sandoval, O. A., Rosas, J. C., y Román-Gutiérrez, A. D. (2012). PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD PISCÍCOLA EN EL ESTADO DE HIDALGO, México. *Ingeniería*, 16(3), 165-174

APROMAR. (2020). LA ACUICULTURA EN ESPAÑA. Asociación empresarial de acuicultura en España. 95 pp.

Armendáriz, S. N. I. (2009). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE UNA LÍNEA GENÉTICA SELECCIONADA DE TRUCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*, WALBAUM) CULTIVADA EN DOS SISTEMAS INTENSIVOS Tesis Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana UAM.

Austreng, E., Refstie, T., (1979). EFFECT OF VARYING DIETARY PROTEIN LEVEL IN DIFFERENT FAMILIES OF RAINBOW TROUT. *Aquaculture*, 18: 145-156.

Burrells, C., Williams, P. D., Southgate, P. J., y Crampton, V. O. (1999). IMMUNOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND PATHOLOGICAL RESPONSE OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) TO INCREASING DIETARY

CONCENTRATIONS OF SOYBEAN PROTEINS. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 72, 277–288.

Cada, G. F., Loar, J. M., y Cox, D. K. (1987). FOOD AND FEEDING PREFERENCES OF RAINBOW AND BROWN TROUT IN SOUTHERN APPALACHIAN STREAMS. *American Midland Naturalist*, 374-385.

Carlander, K.D. (1969). HANDBOOK OF FRESHWATER FISHERY BIOLOGY, Vol. I. Iowa State Univ. Impresion; Ames, 752p.

Carrillo-Longoria J.A. (2017). EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y RESPUESTA INMUNE EN JUVENILES DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss* WALBAUM 1972) ALIMENTADAS CON DIETAS CON ALTO CONTENIDO DE PROTEÍNA PROVENIENTE DE GLUTEN DE MAÍZ. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Craft C. D., Ross C., Sealey W., Gaylord G., Barrows F., Formshell G., y Myrick C., (2016), GROWTH, PROXIMATE COMPOSITION, AND SENSORY CHARACTERISTICS OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 459, 223-231

Dairiki, J.; Borguesi, R.; Dias, C.; Cyrino, J. (2013). LYSINE AND ARGININE REQUIREMENTS OF SALMINUS BRASILIENSIS. *Pesquerías y agropecuaria, Brasil* 125,1012-1020.

FAO. (2009). ONCORHYNCHUS MYKISS. IN CULTURED AQUATIC SPECIES FACT SHEETS. consultado en: http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rainbowtrout.htm

FAO. (2016). EL ESTADO MUNDIAL DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA 2016. CONTRIBUCIÓN A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA NUTRICIÓN PARA TODOS. Roma, Italia. 224 pp.

FAO. (2017). WORLD AQUACULTURE 2015: A BRIEF OVERVIEW. FAO Fisheries and Aquaculture General no. 1140. Roma Italia

FAO. (2020). ESTADO MUNDIAL DE LA PESCA Y LA ACUACULTURA 2020. LA SOSTENIBILIDAD EN ACCIÓN. Roma, Italia. 243.pp.

Francis, G., Makkar, H. P., y Becker, K. (2001). ANTINUTRITIONAL FACTORS PRESENT IN PLANT-DERIVED ALTERNATE FISH FEED INGREDIENTS AND THEIR EFFECTS IN FISH. *Aquaculture*, 199(3-4), 197-227.

García Macías, J. A., Núñez González, F. A., Chacón Pineda, O., Alfaro Rodríguez, R. H., y Espinosa Hernández, M. R. (2004). CALIDAD DE CANAL Y CARNE DE TRUCHA ARCO IRIS, *ONCORHYNCHUS MYKISS* RICHARDSON, PRODUCIDA EN EL NOROESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA. *Hidrobiológica*, 14(1), 19-26.

Gasco, L., Palmegiano, G. B., Gai, F., Daprà, F., Sicuro, B., Guo, K., y Zoccarato, I. (2005). USE OF RICE PROTEIN CONCENTRATE IN RAINBOW TROUT FEEDING. *Italian Journal of Animal Science*, 4(sup2), 591-593.

Ghaly A., Kamal M., Mahmoud N. (2005). PHYTOREMEDIATION OF AQUACULTURE WASTEWATER FOR WATER RECYCLING AND PRODUCTION OF FISH FEED. "Environment International". 3, 1-13.

González L. Rocío, Hernández H. Luis Héctor, Fernández A. Mario Alfredo. (2011). NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN EN ACUACULTURA: NOTAS DEL CURSO APOYADO POR DGAPA A TRAVÉS DEL PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN Y SUPERACIÓN DOCENTE (PASD) DE LA UNAM, 59 pp.

Goytortúa-Bores, E., Civera-Cerecedo, R., Rocha-Meza, S., y Green-Yee, A. (2006). PARTIAL REPLACEMENT OF RED CRAB (*PLEURONCODES PLANIPES*) MEAL FOR FISH MEAL IN PRACTICAL DIETS FOR THE WHITE SHRIMP *LITOPENAEUS VANNAMEI*. EFFECTS ON GROWTH AND IN VIVO DIGESTIBILITY. *Aquaculture*, 256(1-4), 414-422.

Hardy, R. W. (2008). FARMED FISH DIET REQUIREMENTS FOR THE NEXT DECADE AND IMPLICATIONS FOR GLOBAL AVAILABILITY OF NUTRIENTS. *Alternative protein sources in aquaculture diets*, 1-15.

Hardy, R. W. 2010. UTILIZATION OF PLANT PROTEINS IN FISH DIETS: EFFECTS OF GLOBAL DEMAND AND SUPPLIES OF FISHMEAL. *Aquaculture Research* 41: 770-776.

HARGREAVES, J.A. 1998 NITROGEN BIOGEOCHEMISTRY OF AQUACULTURE PONDS. (REVIEW). *Aquaculture*, Amsterdam, 166:181-212.

Hernandez, A., Satoh, S., Kiron, V., y Watanabe, T. (2004). PHOSPHORUS RETENTION EFFICIENCY IN RAINBOW TROUT FED DIETS WITH LOW FISH MEAL AND ALTERNATIVE PROTEIN INGREDIENTS. *Fisheries science*, 70(4), 580-586.

Hernández-Hernández L. H. y Carrillo-Longoria J. A. (2018). CULTIVO DE TRUCHA ARCOÍRIS EN MÉXICO: RETOS QUE ENFRENTA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE. *Ciencia Pesquera*, 26, 59-64.

Hillestad, M., Johnsen, F., Austreng, E., y Asgard, T. (1998). LONG-TERM EFFECTS OF DIETARY FAT LEVEL AND FEEDING RATE ON GROWTH, FEED UTILIZATION AND CARCASS QUALITY OF ATLANTIC SALMON. *Aquaculture Nutrition*. 4: 89-97.

INAPESCA. (2018). ACUACULTURA. TRUCHA ARCOÍRIS. México. Gobierno de México Recuperado de [https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-trucha-arcoiris#:~:text=a\)%20En%20M%C3%A9xico%20la%20trucha,sustentable%20s%C3%B3lo%20puede%20ser%20a](https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-trucha-arcoiris#:~:text=a)%20En%20M%C3%A9xico%20la%20trucha,sustentable%20s%C3%B3lo%20puede%20ser%20a)

Jover C. M. (2000). ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO, TASA DE ALIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE DESECHOS EN PISCICULTURA MEDIANTE UN MODELO BIOENERGÉTICO. *AquaTIC*. (9).

Krogdahl, A., Penn, M., Thorsen, J., Refstie, S., y Bakke, A. M. (2010). IMPORTANT ANTINUTRIENTS IN PLANT FEEDSTUFFS FOR AQUACULTURE: AN UPDATE ON RECENT FINDINGS REGARDING RESPONSES IN SALMONIDS. *Aquaculture research*, 41(3), 333-344.

Li, P.; Mai, K.; Trushenski, J.; Wu, G. (2009). NEW DEVELOPMENTS IN FISH AMINO ACID NUTRITION: TOWARDS FUNCTIONAL AND ENVIRONMENTALLY ORIENTED AQUAFEEDS. *Amino Acids* 37:43–53.

Lu, Y., Ludsin, S. A., Fanslow, D. L., y Pothoven, S. A. (2008). COMPARISON OF THREE MICROQUANTITY TECHNIQUES FOR MEASURING TOTAL LIPIDS IN FISH. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(10), 2233-2241.

Lupatsch Y., Kissil G.W., Sklan D. y Pfeffer E. (1998). ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENTS FOR MAINTENANCE AND GROWTH IN GILTHEAD SEABREAM (*SPARUS AURATA*). *Aquaculture Nutrition*, 4:165-173.

Mambrini, M., Roem, A. J., Carvedi, J. P., Lallès, J. P., y Kaushik, S. J. (1999). EFFECTS OF REPLACING FISH MEAL WITH SOY PROTEIN CONCENTRATE AND OF DL-METHIONINE SUPPLEMENTATION IN HIGH-ENERGY, EXTRUDED DIETS ON THE GROWTH AND NUTRIENT UTILIZATION OF RAINBOW TROUT, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of animal science*, 77(11), 2990-2999.

Martínez Córdova L., Martínez Porchas R. y E. Cortés-Jacinto. (2009). CAMARONICULTURA MEXICANA Y MUNDIAL: ¿ACTIVIDAD SUSTENTABLE O INDUSTRIA CONTAMINANTE? *Revista internacional de contaminación ambiental*. 25(3), 181- 196.

Morales, G. (2004). CRECIMIENTO Y EFICIENCIA ALIMENTARIA DE TRUCHA ARCO IRIS (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) EN JAULAS BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE ALIMENTACIÓN. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía.

Montero Rodríguez, M. (2005). VISION GENERAL DEL SECTOR ACUÍCOLA NACIONAL. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO en línea. Roma, Italia. Consultado el 4 de septiembre de 2020 http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_mexico/es

Naranjo. E. B. (2016). ECOLOGÍA TRÓFICA DE LA TRUCHA ARCOÍRIS ONCORHYNCHUS MYKISS (SALMONIDAE) EN EL RÍO SAVEGRE, SAN GERARDO DE DOTA, COSTA RICA. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Costa Rica

Ochoa Orihuela, D. T. (2018). ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES DEL PACO (*Piaractus brachypomus*) EN BASE A LA COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS EN EL MÚSCULO. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

Palmeigiano, G. B., Daprà, F., Forneris, G., Gai, F., Gasco, L., Guo, K., y Zoccarato, I. (2006). RICE PROTEIN CONCENTRATE MEAL AS A POTENTIAL INGREDIENT IN PRACTICAL DIETS FOR RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 258(1-4), 357-367

Pennell, W., y Barton, B. A. (1996). PRINCIPLES OF SALMONID CULTURE. University of South of Dakota. USA

·Refstie S., T. Storebakken, G. Baeverfjord y A. J. Roem. (2001) LONG-TERM PROTEIN AND LIPID GROWTH OF ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR*) FED DIETS WITH PARTIAL REPLACEMENT OF FISH MEAL BY SOY PROTEIN PRODUCTS AT MEDIUM OR HIGH LIPID LEVEL. *Aquaculture* 193: 91-106

Rosado, D. E. P., y Arroniz, J. V. (2014). LA ACUACULTURA MEXICANA: POTENCIALIDAD, RETOS Y ÁREAS DE OPORTUNIDAD. *Revista mexicana de agronegocios*, 35, 1065-1071.

·SAGARPA (2018). ANUARIO ESTADÍSTICO DE ACUACULTURA Y PESCA. CONAPESCA 2017. México. 145.

Salazar Díaz, M. G. (2001). LA ACUICULTURA EN MÉXICO. Universidad Veracruzana. Veracruz. 8pp

Sharma, R.K., y Bhat, R. A. (2015). LENGTH-WEIGHT RELATIONSHIP, CONDITION FACTOR OF RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) FROM KASHMIR WATERS. *Annals of biological research*, 6(8), 25-29.

Storebakken, T., Shearer, K. D., y Roem, A. J. (2000). GROWTH, UPTAKE AND RETENTION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS, AND ABSORPTION 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(2), 103-108.

Trujano, A., (2018). PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss* WALBAUM 1972) ALIMENTADAS CON DIETAS CON ALTO CONTENIDO DE PROTEÍNA DE ORIGEN VEGETAL. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Tusche, K., Arning, S., Wuertz, S., Susenbeth, A. y Schulz, C., (2012). WHEAT GLUTEN AND POTATO PROTEIN CONCENTRATE- PROMISING PROTEIN SOURCES OF ORGANIC FARMING OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*: 344-349.

Tusche, K., Berends, K., Wuertz, S., Susenbeth, A., y Schulz, C. (2011). EVALUATION OF FEED ATTRACTANTS IN POTATO PROTEIN CONCENTRATE BASED DIETS FOR RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 54-60.

Vielma, J., Mäkinen, T., Ekholm, P., y Koskela, J. (2000). INFLUENCE OF DIETARY SOY AND PHYTASE LEVELS ON PERFORMANCE AND BODY COMPOSITION OF LARGE RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) AND ALGAL AVAILABILITY OF PHOSPHORUS LOAD. *Aquaculture*, 183(3-4), 349-362.

Yang, Y. H., Wang, Y. Y., Lu, Y., y Li, Q. Z. (2011). EFFECT OF REPLACING FISH MEAL WITH SOYBEAN MEAL ON GROWTH, FEED UTILIZATION AND NITROGEN

AND PHOSPHORUS EXCRETION ON RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*).
Aquaculture International, 19(3), 405-419.

Yoo, G. Y., Wang, X., Choi, S., Han, K., Kang, J. C., y Bai, S. C. (2005). DIETARY MICROBIAL PHYTASE INCREASED THE PHOSPHORUS DIGESTIBILITY IN JUVENILE KOREAN ROCKFISH SEBASTES SCHLEGELI FED DIETS CONTAINING SOYBEAN MEAL. Aquaculture, 243(1-4), 315-322.

Zhou Z, E Ringo, Olsen R. E., y Song Z. K., (2018). DIETARY EFFECTS OF SOYBEAN PRODUCTS ON GUT MICROBIOTA AND IMMUNITY OF AQUATIC ANIMALS: A REVIEW. Aquaculture Nutrition 24(1): 644-665.

ANEXOS

ANEXO 1 Taxonomía y representación gráfica de la especie

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Salmoniformes

Familia: Salmonidae

Subfamilia: Salmoninae

Género: Oncorhynchus

Especie: *Oncorhynchus mykiss*



Anexo 2: Porcentaje de proteína por el método de Kjeldahl

Procedimiento:

Digestión

1. Corroborar que las jarras de scrubber estén llenas, si no es así, llenar con 1,700 ml de agua destilada
2. Agregar 255g de NaOH y 4 gotas de indicador de pH BBT
3. Se pesa 1 g de muestra seca, 1 muestra por tubo de digestión
4. Por cada tubo de digestión se agregan 2 Kjeltabs, de no contar con estas, usar 2g de mezcla 9:1 de sulfato de cobre o potasio.
5. Agregar 15 ml de ácido sulfúrico concentrado a los tubos.
6. Encender el digestor (450 ° C) colocar los tubos en el rack hasta los 150 °C y taparlos. Es importante corroborar el funcionamiento del sistema de extracción de gases (exhaust) además de la campana de extracción.
7. Una vez que se alcanza la temperatura de 420 °C dejar la digestión por 1 hora.
8. Dejar enfriar 45 minutos.
9. Colocar 25 ml de la solución indicadora de ácido bórico en un matraz Erlenmeyer de 250mL

Destilación

1. Hacer purga del sistema de destilación Kjeltec TM2100 con 100 ml de agua destilada en un tubo de digestión limpio.
2. Una vez los tubos están fríos, agregar 70 ml de agua destilada a cada tubo
3. Preparar los matraces con la solución indicadora de ácido bórico
4. Se agregan 60 a 70 ml de NaOH y se inicia ciclo de destilación 5 min y se extrae el matraz con guantes.
5. Lavar el sistema
6. La solución del destilado se titula con ácido sulfúrico al 0.1 N y el viraje es de un color verde claro y brillante a uno oscuro.

Cálculos:

$$N (\%) = (14 \times (V_m - V_b) \times N(H_2SO_4) \times 1.004) \div (PM \times 10)$$

Donde:

14 = peso molecular del nitrógeno

V_m = ml usados para titular la muestra Usualmente es 0

$N(H_2SO_4)$ = Normalidad del ácido sulfúrico

1.004 = Factor constante de la fórmula

PM = peso de la muestra

$$\% \text{ de proteína cruda} = \% N \times 6.25$$

ANEXO 3: Determinación del porcentaje de micro lípidos (Lu et al., 2008).

Procedimiento

1. Lavar el material con jabón libre de fosfatos, agua destilada y enjuagar con alcohol
2. Pesar entre 20-100 mg de muestra
3. Agregar a la muestra 1 ml de cloro-metanol 2:1 a cada tubo con muestra
4. Colocar los tubos en el "tissue blender" por 5 minutos a velocidad 7 hasta obtener una pasta homogénea
5. Centrifugar a 13,400 rpm 1 min
6. Tomar el sobrenadante
7. Agregar 100µL de solución salina al sobrenadante
8. homogenizar en el vortex 2 veces por 5 seg
9. Centrifugar a 13,400 rpm 1 minuto
10. Agregar 1.5 ml de Cloroformo
11. Retirar el sobrenadante de las 2 faces
12. La fase de inferior, la parte de abajo pasará a los tubos de ensaye
13. Se evapora el solvente usando una corriente de aire. Tiene que quedar una capa amarilla al fondo
14. Pesar en balanza analítica, diferencia de peso del tubo con y sin la capa amarillenta (lípidos)

Cálculos

$$\text{Lípidos} = \text{PL} \div \text{PM} \times 100$$

Donde:

PL= peso de lípidos (Peso tubo final – peso del tubo inicial)

PM = Peso de la muestra

ANEXO 4: Contenido de Humedad

Procedimiento

1. Dejar crisoles de aluminio en el horno por al menos 2 horas a 90°C
2. Colocarlos en un desecador y dejar enfriar
3. Pesar crisol vacío en balanza analítica.
4. Repetir paso 1, 2 y 3
5. La diferencia entre los 2 pesajes no debe ser mayor a 1 mg
6. Determinar el peso de la muestra en balanza analítica
7. Colocar la muestra en el crisol previamente pesado
8. Colocar crisol en el horno a 90°C por 4 h
9. Colocar en el desecador y dejar enfriar
10. Pesar el crisol en la balanza analítica
11. Repetir pesos 8, 9 y 10
12. La diferencia en ambas mediciones no debe ser mayor a 1 mg, si es así. Repetir la fase de secado hasta tener un peso constante.

Cálculos:

$$\text{Humedad (\%)} = (P1 - P2) \times 100 \div P1$$

Donde:

P1 = peso en g de la muestra antes de secar

P2 = peso en g de la muestra después de secar

ANEXO 5: Contenido de cenizas

Procedimiento

1. Eliminar humedad de crisoles de porcelana en el horno durante 1 hora a 80°C
2. Colocar en desecador y dejar enfriar
3. Pesar Crisol
4. Registrar el peso
5. Agregar la muestra en peso seco
6. Registrar el peso exacto de la muestra y el crisol (Peso inicial)
7. Introducir el crisol de porcelana en mufla a 600°C por 6 h
8. Dejar enfriar a menos de 80 °C
9. Colocar crisol en desecador y dejar enfriar
10. Pesar el crisol con las cenizas (peso final)

Cálculos

$$\text{Cenizas (\%)} = (PF \times 100) \div PI$$

Donde:

PI = Peso inicial del crisol

PF = Peso final del crisol