



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Desarrollo de alimento balanceado para tilapia a partir de
harinas de microalga y larva de mosca soldado

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias en Ingeniería en Biosistemas

Presenta

IBT. Mónica Vanessa Oviedo Olvera

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Querétaro, Qro. a Mayo de 2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias en Ingeniería en Biosistemas

Desarrollo de alimento balanceado para tilapia a partir de harinas de
microalga y larva de mosca soldado

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestro en Ciencias en Ingeniería en Biosistemas

Presenta

Mónica Vanessa Oviedo Olvera

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo

Presidente

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Secretario

Dra. Claudia Gutiérrez Antonio

Vocal

Dr. Ramón Gerardo Guevara González

Suplente

Dr. José Guadalupe Gómez Soto

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Mayo 2021

México

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el gran soporte que representan en mi vida y por toda su fuerza y acompañamiento en las diferentes etapas de mi desarrollo académico.

Al Dr. Juan Fernando García Trejo por su guía y apoyo para la realización de este proyecto, así como a todo su equipo que conforma al laboratorio de Bioingeniería.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por ser parte esencial para el desarrollo de las diferentes actividades académicas.

Al CONACYT por proporcionarme el apoyo económico durante el trayecto de la maestría.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 11 |
| II. | ANTECEDENTES | 13 |
| II.1. | Requerimiento alimenticios tilapia del Nilo | 13 |
| II.2. | Larva de mosca soldado negra en la alimentación de peces | 14 |
| II.3. | Uso de microalgas en alimentación de peces | 16 |
| III. | HIPÓTESIS | 18 |
| IV. | OBJETIVOS | 19 |
| IV.1. | Objetivos particulares | 19 |
| V. | MATERIALES Y MÉTODOS | 20 |
| V.1. | Descripción general del trabajo de investigación | 20 |
| V.2. | Formulación teórica de dietas balanceadas | 21 |
| V.3. | Obtención de harinas alternativas | 22 |
| V.4. | Caracterización físico-química de harinas | 24 |
| V.4.1. | Determinación de humedad | 24 |
| V.4.2. | Determinación de cenizas | 25 |
| V.4.3. | Determinación de proteína cruda | 25 |
| V.4.4. | Determinación de grasas totales | 26 |
| V.4.5. | Determinación de carbohidratos totales | 26 |
| V.4.6. | Determinación de calorías | 26 |
| V.4.7. | Determinación de minerales | 27 |
| V.5. | Elaboración de alimentos experimentales | 27 |
| V.6. | Cultivo hiperintensivo de tilapia | 27 |
| V.7. | Monitoreo de la calidad de agua | 29 |
| V.8. | Biometrías | 29 |
| V.9. | Respirometrías | 30 |
| V.10. | Variables asociadas a la producción | 31 |
| VI. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 33 |
| VI.1. | Balance teórico de dietas experimentales | 33 |
| VI.2. | Caracterización química de harinas | 37 |
| VI.3. | Caracterización química de dietas experimentales | 38 |

| | | |
|---------|--|----|
| VI.4. | Caracterización de minerales en dietas experimentales | 40 |
| VI.5. | Elaboración de alimentos balanceados | 41 |
| VI.6. | Cultivo hiperintensivo de tilapia y monitoreo de condiciones ambientales | 42 |
| VI.7. | Validación de alimentos balanceados | 46 |
| VI.7.1. | Comparación por ganancia en peso | 46 |
| VI.7.2. | Estado de salud relativa | 48 |
| VI.7.3. | Respirometría | 49 |
| VI.7.4. | Parámetros productivos del cultivo | 50 |
| VIII. | CONCLUSIONES | 53 |
| IX. | REFERENCIAS | 54 |

Dirección General de Bibliotecas UAO

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Requerimientos de macronutrientes en tilapia del Nilo en etapa de desarrollo larva/alevín (A.-F. M. El-Sayed, 2020) | 20 |
| Tabla 2. Comparación de límites de inclusión de harinas convencionales en dietas para tilapia del Nilo. | 32 |
| Tabla 3. Balanceo teórico de alimentos balanceados con harinas alternativas, propuesta 1. | 34 |
| Tabla 4. Balance teórico de alimentos para tilapia con harinas convencionales y alternativas, propuesta 2. | 35 |
| Tabla 5. Comparación de la composición proximal de harinas utilizadas para el desarrollo de alimentos balanceados para tilapia. | 37 |
| Tabla 6. Comparación de la composición proximal de alimentos balanceados, propuesta 1. | 38 |
| Tabla 7. Comparación de composición química entre dietas balanceadas de la propuesta 2. | 38 |
| Tabla 8. Comparación de la concentración de nitrógeno amoniacal del sistema de recirculación | 41 |
| Tabla 9. Monitoreo de la concentración de nitritos en cultivo de tilapia | 42 |
| Tabla 10. Monitoreo de la concentración de nitratos en sistema de recirculación experimental | 43 |
| Tabla 11. Valores del intercepto y pendiente obtenidos de la ecuación de regresión lineal simple para cada una de las dietas. En paréntesis se muestra el error estándar, n indica el tamaño de muestra. | 46 |
| Tabla 12. Comparación de las variables asociadas a la producción calculados para un cultivo de tilapia con diferentes alimentos balanceados | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama por etapas del trabajo de investigación para el desarrollo de alimento balanceado para tilapia a partir de harinas alternativas. | 19 |
| Figura 2. Fotobiorreactor para producción de microalgas (izquierda). Harina de microalga en dos diferentes tamaños de partícula (derecha). | 22 |
| Figura 3. Larva de mosca soldado seca previa a molido (izquierda). Mosca soldado negra en jaulas de reproducción (derecha). | 23 |
| Figura 4. Larva de mosca soldado seca previa a molido (izquierda). Mosca soldado negra en jaulas de reproducción (derecha). | 27 |
| Figura 5. Esquema de la toma de longitud total (A) y longitud patrón (B) para peces. | 28 |
| Figura 6. Procedimiento de respirometría en ciclo de 24 horas. 1) Introducción de organismo a cámara respirométrica, 2) Toma inicial de oxígeno disuelto (OD) y Amonio (N-NH ₃), 3) Sellado de cámara respirométrica por cuatro horas, 5) Toma de oxígeno y nitrógeno al finalizar las cuatro horas. | 29 |
| Figura 7. Preparación de alimentos balanceados de la propuesta 1. Pesado de harinas (izquierda) y mezclado de proporciones calculadas de harinas (derecha). | 39 |
| Figura 8. Pellets secándose al sol de uno de los alimentos balanceados formulados | 40 |
| Figura 9. Sistema de cultivo utilizado para la validación de dietas balanceadas. A la izquierda de muestra la parte frontal del sistema y a la derecha la parte posterior del mismo con el sistema de filtrado. | 41 |
| Figura 10. Comparación del comportamiento de oxígeno disuelto por cada sección del sistema de cultivo | 43 |
| Figura 11. Comparación del aumento en peso por 7 semanas de acuerdo al porcentaje de proteína de las diferentes dietas. | 44 |

Figura 12. Comparación de la ganancia en peso inicial y final de tilapias alimentadas con dietas balanceadas experimentales. 45

Figura 13. Gráficos generados de la regresión lineal ajustada a modelo multiplicativo para las dietas a 45% de proteína. 47

Figura 14. Comportamiento del consumo de oxígeno de tilapias en la semana 1 de experimentación durante 24 horas. 48

Dirección General de Bibliotecas UAQ

RESUMEN

La acuicultura ha presentado un acelerado desarrollo en los últimos años y para asegurar su progreso y sustentabilidad una de las perspectivas futuras más importantes es el desarrollo y optimización de nuevos alimentos. Entre las principales fuentes de proteína en la formulación de alimentos se encuentra la harina de pescado, la cual, aunado a su alta demanda en la industria alimentaria, sus costos han ido en aumento y la sustentabilidad de su obtención se ha puesto en duda, por lo que se ha desencadenado la búsqueda de nuevos insumos para la acuicultura. Tanto la larva de mosca soldado negra como las microalgas han sido utilizadas como insumos alternativos a la harina de pescado en la alimentación de diversas especies acuáticas como la tilapia del Nilo debido a su composición química, principalmente de proteína, carbohidratos y lípidos. Sin embargo, la combinación de ambos insumos dentro de una fórmula alimenticia no ha sido probada anteriormente. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un alimento balanceado para tilapia a partir de estos dos insumos alternativos. La inclusión de microalga se mantuvo al 5% y se probaron tres porcentajes de larva (5, 10 y 15%) para su combinación. Por otro lado, las dietas fueron complementadas con harinas de origen vegetal y animal de acuerdo a sus límites de inclusión para la alimentación de tilapia. Las dietas se balancearon a tres porcentajes de proteína total al 45, 35 y 25% y fueron comparadas respecto a un alimento comercial. Entre los resultados, fue posible formular dietas para alevín de tilapia utilizando larva de mosca soldado y microalga; todas las dietas tuvieron alta aceptación por las tilapias y se obtuvo una supervivencia superior al 85%. Las dietas formuladas al 45 y 35% de proteína generaron parámetros productivos cercanos a los obtenidos con la alimentación comercial. Es posible incluir hasta 15% de larva de mosca soldado en la dieta para tilapia en combinación con microalga sin afectar el crecimiento del pez.

Palabras clave: nutrición acuícola, tilapia del Nilo, proteínas alternativas, *Hermetia illucens*, *Nannochloropsis limnetica*.

ABSTRACT

Aquaculture has present a rapid development in recent years and to ensure its progress and sustainability one of the most important future prospects is the development and optimization of new foods. Among the main sources of protein in food formulation is fishmeal, which, coupled with its high demand in the food industry, its costs have been increasing and the sustainability of its production has been called into question, because of that the search for new inputs for aquaculture has been triggered. Both black soldier fly larvae and microalgae have been used as alternative inputs to fishmeal in the feeding of various aquatic species such as Nile tilapia due to its chemical composition, mainly protein, carbohydrates and lipids. However, the combination of both inputs within a food formula has not been tested before. The objective of this work was to develop a balanced food for tilapia from these two alternative inputs. The inclusion of microalgae remained at 5% and three percentages of larvae (5,10 and 15%) were tested for combination. On the other hand, diets were supplemented with flours of plant and animal origin according to their inclusion limits for the feeding of tilapia. The diets were balanced to three percentages of total protein at 45, 35 and 25% and compared to a commercial food. Among the results, it was possible to formulate diets for tilapia fry using black soldier fly larvae and microalgae; all diets were highly accepted by tilapias and survival was achieved above 85%. Diets formulated at 45 and 35% protein generated productive parameters close to those obtained with commercial food. It is possible to include up to 15% of black soldier fly larvae in the tilapia diet in combination with microalgae without affecting fish growth.

Keywords: fish nutrition, Nile tilapia, alternative proteins, *Hermetia illucens*, *Nannochloropsis limnetica*.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura continental está basada en la producción de organismos acuáticos de agua dulce principalmente. En 2018, la acuicultura de agua dulce aportó el 62.5% de la producción mundial de pescado para consumo humano, proporcionando 51.3 millones de toneladas de animales acuáticos (FAO, 2020). Entre las especies más populares de cultivo por esta técnica se encuentra la tilapia del Nilo, representando el 5.25% del tonelaje de producción en la acuicultura mundial y ocupando el cuarto lugar de la lista de las 10 especies más cultivadas en el mundo (Junning et al., 2019). Así pues, la acuicultura ha sido el sector con mayor crecimiento en los últimos años con una tasa anual del 5.8% y para asegurar su progreso y sustentabilidad una de las perspectivas futuras más importantes es el desarrollo y optimización de nuevos alimentos (Hua et al., 2019); esto último como una estrategia que permita la reducción de los costos de operación, ya que el 60% de estos es destinado a la alimentación de peces (Daniel, 2018). Asimismo, el rápido crecimiento de la acuicultura ha provocado un aumento en la demanda de alimentos debido a que aproximadamente el 70% de los cultivos acuícolas dependen de alimentos formulados (Cashion et al., 2017).

Dentro de la formulación de alimentos balanceados la principal fuente de proteína es la harina de pescado, la cual es obtenida a partir de la pesca y procesamiento de pequeñas especies pelágicas, importantes en la cadena trófica primaria de los ecosistemas acuáticos, y de sub productos de la industria pesquera (Cashion et al., 2017). Debido a esto, la sustentabilidad de la industria de la harina de pescado se ha puesto en duda actualmente causando una disminución en su producción (Gasco et al., 2018). Además, el aumento de demanda por el rápido crecimiento del sector acuícola ha provocado una fluctuación importante en sus costos y su inestabilidad en el mercado (Abdel-Tawwab et al., 2020). En 2009 se calculó un costo de \$1143 USD por tonelada de harina de pescado y para el 2018 aumentó hasta \$1600 USD por tonelada (Qiao et al., 2019). Por esta razón, la industria alimentaria acuícola ha optado por la búsqueda de nuevos insumos que permitan reducir la inclusión de ingredientes marinos y a su vez que cuenten con la disponibilidad, sustentabilidad, costo y valor nutricional necesarios para el continuo desarrollo de la acuicultura y la nutrición de organismos acuáticos (Magalhães et al., 2017; Nasopoulou & Zabetakis, 2012).

Entre los ingredientes alternativos que cuentan con estas características para la alimentación acuícola se ha enfocado la atención en cultivos agrícolas y sus residuos, sub productos de origen animal, microorganismos e insectos (Dumas et al., 2018). Todos estos han sido probados en diferentes niveles de inclusión y reemplazo de fuentes de proteína en alimentos balanceados para peces, pero son los insumos de origen entomológico y derivados de microorganismos los que han tomado mayor relevancia.

Respecto a esta última clasificación, las microalgas son consideradas microorganismos unicelulares a las cuáles se les ha proporcionado múltiples aplicaciones para mejorar el estado nutricional de las especies que las consumen, esto debido a su contenido de compuestos bioactivos y biomoléculas como vitaminas, minerales, antioxidantes, ácidos grasos poliinsaturados y aminoácidos esenciales (Sathasivam et al., 2019). Las microalgas ya han sido probadas como suplemento y reemplazo de fuentes proteicas en la alimentación de diferentes especies de peces, no obstante, la mayoría de estos trabajos han reportado resultados relevantes con una inclusión menor al 15% (Shah et al., 2018). Por otro lado, la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) es un insecto que ha sido considerado en el desarrollo de alimentos acuáticos en los últimos años debido a su alto contenido de proteína, balanceado perfil de aminoácidos y favorable contenido de ácidos grasos saturados (Dietz C., 2018). Al igual que las microalgas, la mosca soldado ya ha sido incluida en la dieta de peces como el salmón, trucha, tilapia, entre otros, como posible reemplazo de harina y aceite de pescado; su investigación como insumo alternativo y la proporción de inclusión en los alimentos para peces aún continúan en desarrollo (Henry et al., 2015).

De esta manera, a partir de los resultados reportados y los beneficios aportados por ambos insumos en el desarrollo y crecimiento de peces, la realización de este trabajo pretende obtener un balance de nutrientes para los requerimientos de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) a partir del uso de microalgas y mosca soldado negra como una mezcla para el desarrollo de alimentos con un reemplazo total de harina de pescado.

II. ANTECEDENTES

Un alimento acuícola se considera balanceado cuando este logra cubrir las necesidades nutrimentales de un organismo, es decir, cuenta con características nutricionales vitales como un balanceado perfil de aminoácidos, nutrientes esenciales de acuerdo a los requerimientos de la especie, así como alta digestibilidad, palatabilidad y bajo contenido de fibra (Gbadamosi & Lupatsch, 2018). Si bien, la nutrición es el componente más caro en la acuicultura, se ha comprobado que el correcto manejo de la alimentación y suministro de nutrientes es necesario para el desarrollo exitoso de un cultivo de peces (A.-F. M. El-Sayed, 2020). Hoy en día, los acuicultores dedicados al cultivo de tilapia se han enfrentado a proporcionar una alimentación que cuente con los requerimientos de cinco principales clases de nutrientes: proteína, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales (A.-F. M. El-Sayed, 2020).

II.1. Requerimiento alimenticios tilapia del Nilo

La tilapia del Nilo es una especie omnívora que se alimenta en los niveles bajos de la cadena trófica, acepta en su dieta desde insectos del medio natural, zooplancton, fitoplancton, hasta componentes vegetales (CTAQUA, 2016). A pesar de su versatilidad y tolerancia para alimentarse, las exigencias nutrimentales de la especie variarán dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentre. Para tilapias en estado alevin-juvenil (0.02 a 10 g) será necesario proporcionar una dieta alta en proteína, lípidos, vitaminas y minerales pero baja en carbohidratos; peces de 10 a 25 g (sub adultos) requerirán mayor cantidad de energía proporcionada por lípidos y carbohidratos, así como un bajo contenido de proteína que utilizarán para crecimiento; finalmente para tilapias adultas (>25 g) será necesario incluir altas cantidades de carbohidratos y poca proteína (FAO, 2018). En la elaboración de alimentos para peces las proporciones de proteína suelen ser muy altas debido a que ésta es necesaria para el crecimiento, mantenimiento, reparación de tejidos y para un estatus óptimo de salud, no obstante, resulta ser el componente dietario más costoso (Teles et al., 2020). Hasta el momento, la harina de pescado ha sido el ingrediente proteico más importante para la acuicultura, ya que contiene un alto contenido de proteína cruda, alto contenido de aminoácidos esenciales y un balanceado contenido nutrimental para peces, sin embargo, su producción ha competido con el crecimiento de la acuicultura ya que ha puesto en peligro el

escalamiento de las pesquerías de peces forrajeros, así como ciertos ecosistemas acuáticos (Jones et al., 2020). Por tanto, existe una demanda por ingredientes proteicos que logren sustituir a la harina de pescado y que logren mantener el rendimiento de alimentación, los beneficios para la salud de organismos acuáticos y sobre todo, que puedan ser estables respecto a su oferta y demanda para la expansión de las industrias alimentarias (Dumas et al., 2018; Jones et al., 2020).

A partir de esto, la aplicación de fuentes proteicas alternativas a la harina de pescado ha sido considerada como una opción viable para la reducción de costos de los alimentos y a su vez, proporcionando una nutrición por lo menos similar a la de un alimento comercial. Dentro de las diferentes pruebas de inclusión en dietas para peces, la larva de mosca soldado y la microalga han sido evaluadas para diferentes especies y condiciones en los últimos años.

II.2. Larva de mosca soldado negra en la alimentación de peces

De acuerdo con El-Sayed (2020), el uso de insectos como la mosca soldado negra ha sido reconocido como una alternativa económica y eficiente para el reemplazo de harina de pescado e incluso de harina de soya. La mosca soldado negro en su etapa larval es la más utilizada en la alimentación de peces. Esta es considerada una fuente alimenticia de alto valor nutricional debido a su contenido de proteína y ácidos grasos (Makkar et al., 2014). Aunque su composición puede variar dependiendo del sustrato en el que se desarrollan, las larvas de mosca soldado generalmente presentan un contenido de proteína cruda entre 35 y 72%, lípidos desde 3 hasta 38% y minerales de 4 a 28% , convirtiéndola en un buen candidato para reemplazo de la harina de pescado (Gasco et al., 2018). Así, en 1981 Bondari y Sheppard reportan por primera vez el uso de larva de mosca soldado negro como posible alimento para tilapia azul y bagre. Su trabajo consistió en la mezcla de larva descongelada y molida a 50 y 75% con alimentos comerciales de alto (45%) y bajo (30%) contenido de proteína; entre sus resultados obtuvieron aumento en peso y longitud sin diferencias significativas entre todas las dietas para ambas especies, concluyendo que la larva de mosca soldado puede ser considerada como fuente proteica potencial para la producción de peces. Lock et al. (2016) reemplazaron la harina de pescado por harina de larva de mosca en 25, 50 y 100% en dietas formuladas para Salmón Atlántico de 247g de peso; después de 105 días de experimentación

reportaron que el desarrollo de los peces respecto a crecimiento y digestibilidad del alimento no se vio afectado por la inclusión de larva, además, realizaron pruebas histológicas en hígado, bazo e intestino observando un desarrollo normal en ellos, concluyendo que es viable reemplazar hasta 100% de la harina de pescado en dietas para Salmón. Posteriormente, (Muin et al., 2017) reemplazaron larva de mosca soldado negro seca y molida en 25, 50, 75 y 100% en dietas isoproteicas (30%) para tilapia del Nilo de 3 g de peso, entre sus resultados no observaron diferencias significativas en el rendimiento de crecimiento, aprovechamiento del alimento, composición corporal de los peces y mortalidad, sin embargo, concluyeron que la inclusión del 50% de larva es la más recomendable en dietas para tilapia. Devic et al. (2018) formularon dietas para tilapia del Nilo en las que gradualmente se reemplazó la harina de pescado, el aceite de pescado y harina de soya por 30, 50 y 80 g/kg de harina de larva de mosca de acuerdo a la formulación de dietas isoproteicas a 37% e isolipídicas (9.5%) comparables con un alimento comercial; igualmente reportaron resultados favorables en crecimiento, peso ganado, conversión de biomasa y relación de eficiencia proteica en los peces sugiriendo a la larva como una alternativa viable para la reducción de costos en la formulación de alimentos, no obstante, respecto a la composición de ácidos grasos corporales en los peces se reflejó una diferencia en su contenido de n-6 y n-3 PUFA incrementando y disminuyendo respectivamente de acuerdo al contenido de larva en la alimentación, recomendando complementar las dietas con estos ácidos grasos esenciales para cumplir con la calidad nutricional requerida en tilapias. Por último, actualmente Abdel-Tawwab et al. (2020) evaluó el efecto de la larva de mosca soldado negro en el crecimiento, índices somáticos, composición corporal y variables hemato-bioquímicas del pez lobina (*Dicentrarchus labrax*) y obteniendo resultados sin cambios significativos en las variables previamente mencionadas. De este trabajo cabe destacar que la larva cumplió con los requerimientos de aminoácidos esenciales de la especie, las dietas no afectaron tanto el estado de salud como el estado nutricional de los peces medido a través de parámetros hematológicos y de acuerdo al estudio de eficiencia económica realizado sobre la inclusión de larva en la alimentación, se logró reducir el costo hasta un 15.6% reemplazando 50% de harina de pescado.

II.3. Uso de microalgas en alimentación de peces

Las microalgas han llegado a ser acreedoras de una variedad de aplicaciones y usos desde hace algunos años y es en la nutrición animal en donde se ha logrado obtener efectos benéficos y prometedores al ser utilizadas como suplementos alimenticios (Gómez-Jacinto, 2015). Estos microorganismos eucariotas unicelulares son capaces de generar oxígeno por medio de fotosíntesis, así como biomasa útil para alimentos, compuestos activos de interés biológico y combustibles (Ahmad et al., 2020). Específicamente, su uso en la acuicultura como parte de la dieta de organismos acuáticos ha tomado mayor relevancia al ser definida como un excelente nutriente de alto-valor gracias a su contenido de pigmentos como el beta-caroteno, ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga como los DHA (ácido docosahexaenoico) y EPA (ácido eicosapentanoico), variedad de vitaminas, minerales y bioactivos propios de las microalgas (Yarnold et al., 2019). Además, las microalgas son consideradas como la base de la cadena alimentaria acuática ya que son consumidas por las especies en sus diferentes etapas de desarrollo (Taelman et al., 2013). Su producción puede llevarse a cabo tanto en agua dulce como en agua salada, dependiendo de la especie, no obstante, su desarrollo y composición nutrimental puede verse afectada de acuerdo a las condiciones ambientales de cultivo (Freire et al., 2016).

Su implementación en la alimentación acuícola ha indicado un crecimiento favorable en los organismos en estudios reportados desde Renaud et al. (1994-1999) y Brown et al. (1998), destacando el potencial nutricional de las microalgas (Becker, 2007). A partir de esto, una variedad de especies han sido utilizadas en las dietas de peces con objetivos y finalidades diferentes. Adicionando 21% de la especie *Nannochloropsis oculata* en la dieta de peces lisa, El-Dahhar et al. (2014) reportaron un mayor contenido de proteína en los peces alimentados con microalga comparados con un alimento control a base de harina de pescado. Perez-Velazquez et al. (2018) formularon dietas para corvina roja combinando las microalgas *Arthrospira* sp. y *Schizochytrium limacinum* para el reemplazo de harina de pescado y soya en 10, 20, 30, 40 y 50%; entre sus resultados no obtuvieron diferencias significativas entre los alimentos con microalgas y el control respecto al crecimiento e índices de composición corporal de los peces, concluyendo que es posible reemplazar hasta 50% de estas fuentes

proteicas son afectar el desarrollo de los peces. Asimismo, se han realizado estudios en tilapia del Nilo y su composición de ácidos grasos cuando fue alimentada con la especie *Nannochloropsis salina*, el estudio comparó dietas a base de harina y aceite de pescado, harina y aceite de soya y harina de microalga como fuentes proteicas y lipídicas; los autores no observaron diferencias en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados n-3 ni en la relación n-3/n-6 de los ácidos grasos, por lo que concluyeron que la microalga tiene un buen rendimiento nutricional para la tilapia y es viable para el reemplazo de aceite de pescado y soya en su dieta (Gbadamosi & Lupatsch, 2018). Otras variables que se han evaluado en los peces son el rendimiento de reproducción, parámetros bioquímicos y enzimas digestivas y su comportamiento respecto al reemplazo de harina de pescado por la microalga *Chlorella* sp. en la alimentación del pez zebra; las dietas que reemplazaban el 80% de la harina de pescado presentaron significativamente mayor crecimiento y mejor rendimiento reproductivo de acuerdo a la producción de huevo y supervivencia de larvas, las enzimas digestivas no se vieron afectadas y las dietas con microalga mejoraron el contenido de colesterol, LDL (lipoproteínas de baja densidad) y triglicéridos, por lo tanto los autores concluyeron que la especie *Chlorella* es una interesante alternativa en la alimentación de juveniles del pez zebra (Carneiro et al., 2020).

Actualmente la implementación tanto de larva de mosca soldado negra como de microalgas ha logrado incorporarse en diferentes proporciones para lograr el reemplazo tanto parcial como total de fuentes proteicas y lipídicas, principalmente de la harina y aceite de pescado, sin embargo, los resultados obtenidos sobre el reemplazo total no han resultado del todo favorables comparados con su sustitución parcial (Gasco et al., 2018; Yarnold et al., 2019). Pese a este, no se ha reportado hasta el momento la inclusión de ambas harinas alternativas en forma conjunta en la formulación de alimentos balanceados para peces como reemplazo total de la harina de pescado.

III. HIPÓTESIS

El uso de harinas de microalga y larva de mosca soldado, debido a su composición en proteína, carbohidratos y lípidos, permitirá desarrollar un alimento balanceado para tilapia del Nilo que cuente con las propiedades necesarias para el mantenimiento del crecimiento del pez, obteniendo un rendimiento en el cultivo menos similar a una dieta convencional.

IV. OBJETIVOS

Desarrollar un alimento balanceado para tilapia a partir de harinas de microalga y larva de mosca soldado, haciendo referencia al contenido de proteína para el desarrollo de tilapia *Oreochromis niloticus*.

IV.1. Objetivos particulares

- Obtener y caracterizar las harinas de microalga y larva de mosca soldado para balancear y formular el nuevo alimento para tilapia según sus requerimientos nutricionales.
- Suministrar el alimento y medir la respuesta en las variables de interés como son el crecimiento, actividad metabólica y del cultivo para conocer el efecto en el organismo.
- Analizar e interpretar los datos generados para determinar la efectividad del alimento balanceado.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V.1. Descripción general del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se realizó en tres etapas. La etapa uno inició con la investigación bibliográfica y científica de la larva de mosca soldado y las microalgas como insumos en la alimentación acuícola y los efectos de su inclusión en la dieta de peces, esto con el fin de desarrollar primero un balance teórico de alimento para tilapia. Posteriormente se llevó a cabo la obtención y caracterización de las nuevas harinas producidas en las diferentes plantas pilotos del Laboratorio de Bioingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). En la segunda etapa se realizó el mezclado de las harinas de acuerdo a las proporciones balanceadas para las dietas formuladas respecto a los requerimientos de proteína de la tilapia del Nilo en etapa alevín, seguido del pelletizado y caracterización de las dietas experimentales. Finalmente, la etapa tres hace referencia a la validación de los alimentos en un cultivo hiperintensivo de tilapia, en el cual se evaluó el crecimiento y desarrollo de los organismos al ser alimentados con las dietas experimentales; la Figura 1 muestra el diagrama de bloques del proyecto.

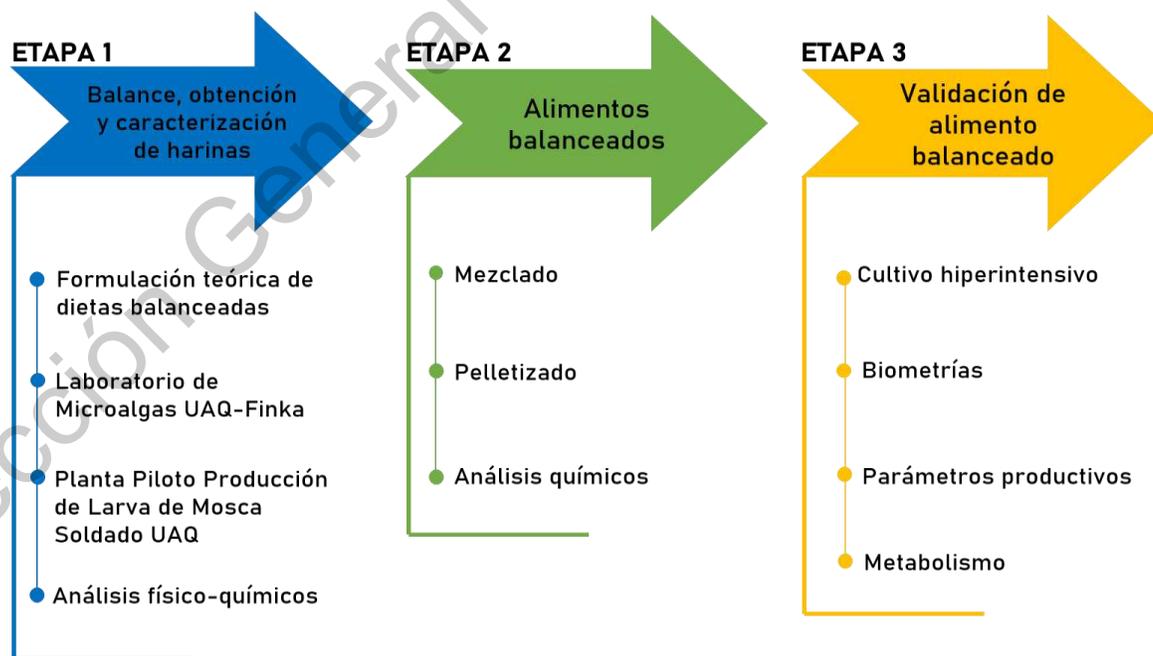


Figura 12. Diagrama por etapas del trabajo de investigación para el desarrollo de alimento balanceado para tilapia a partir de harinas alternativas.

A continuación, se describirán las técnicas utilizadas para cada una de las etapas, así como los equipos utilizados para su realización.

V.2. Formulación teórica de dietas balanceadas

Se realizó una búsqueda en diferentes plataformas de artículos científicos relacionados con la nutrición de tilapia y el uso de harinas alternativas en su alimentación con el fin de establecer los insumos a utilizar en el desarrollo de alimentos balanceados. Asimismo, se determinaron los límites de inclusión de las diferentes harinas de acuerdo a lo reportado por diversos autores y las recomendaciones de éstos. Posterior a la selección y delimitación de harinas, se obtuvo su composición química reportada por plataformas internacionales como AMINODat 5.0 by Evonik Nutrition & Care y por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) por medio de su FoodData Central, en el cuál se proporciona información nutrimental de diferentes compuestos e insumos utilizados en la industria alimentaria. Con la recaudación de datos, se llevó a cabo el balance teórico de diferentes dietas a partir del contenido de proteína, lípidos, carbohidratos, humedad y cenizas de cada una de las harinas con el fin de obtener dietas isoproteicas.

Para realizar el balance de los alimentos se tomaron en cuenta los requerimientos nutrimentales de la tilapia del Nilo en etapa alevín, haciendo énfasis en el contenido de proteína (Tabla 1):

Tabla 1. Requerimientos de macronutrientes en tilapia del Nilo en etapa de desarrollo larva/alevín (A.-F. M. El-Sayed, 2020).

| Macronutriente | Requerimiento en tilapia (%) |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Proteína | 35-45 |
| Lípidos | 6-18 |
| Carbohidratos | 35-40 |

De acuerdo con Alvarado-Castillo et al. (2017), el balance de una dieta en relación con el contenido de proteína digestible de la tilapia permite el incremento en la eficiencia de utilización de los nutrientes y la reducción de la excreción de nitrógeno en el ambiente. Es por esto que a partir de esta premisa se formularon nueve dietas diferentes en las que se modificaba el contenido de harina larva de mosca soldado negra en 5, 10 y 15 % por tres niveles de contenido de proteína total de cada alimento balanceado (45, 35 y 25%). La inclusión de microalga se mantuvo en 5% para todas las dietas. Por último, los alimentos se balancearon con la adición de harina de maíz, harina de gluten de trigo, salvado de trigo, pasta de soya y harina de hueso y carne para complementar los requerimientos del pez.

V.3. Obtención de harinas alternativas

Las microalgas fueron proporcionadas por el Laboratorio de Microalgas perteneciente al laboratorio de Bioingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro ubicado en las instalaciones de la empresa Finka Ahuehuetes S.A. de C.V. dentro del Agropark en el municipio de Colón, Querétaro. El cultivo de microalgas inició con la previa adaptación de la cepa *Nannochloropsis limnetica* utilizando medio de cultivo BG11 al 2% y controlando condiciones ambientales como luz, pH y temperatura por aproximadamente un mes en cámara de germinación. Posteriormente se tomó un inóculo con una densidad óptica de 0.2 g/L que sería utilizado para el escalamiento del cultivo a botellas de 1 L y utilizando agua residual de invernaderos a base de sales (NO_3 y PO_4^{3-}) en lugar de medios de cultivo. El escalamiento continuó en una proporción 1:10 para la obtención de una mayor cantidad de biomasa microalgal, primero se inoculó un biorreactor de 60 L y después un fotobiorreactor de 600 L. Al obtener la densidad de cultivo deseada se procedió a la cosecha continua de los reactores utilizando una centrifuga industrial para su separación y posterior almacenamiento a -20°C en bolsas sellables. Finalmente la biomasa es secada en horno de convección forzada a 40°C por tres días para la producción de harina de microalga; al término del secado ésta es molida y tamizada para ser utilizada en la producción de alimentos para tilapia (Figura 2).



Figura 2. Fotobiorreactor para producción de microalgas (izquierda). Harina de microalga en dos diferentes tamaños de partícula (derecha).

La larva de mosca soldado se obtuvo de la planta piloto de producción de mosca soldado (*Hermetia illucens*) ubicada en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería, UAQ (Figura 3). Aquí las reproducción, crecimiento y desarrollo de la especie se llevan a cabo bajo condiciones ambientales controladas y además se les proporciona una dieta controlada a base de cereales. Ya que se ha recolectado el huevecillo de la mosca soldado, se conserva en condiciones de temperatura entre los 28 y 32°C hasta su eclosión (aproximadamente siete días). Posteriormente las larvas recién eclosionadas son alimentadas de acuerdo a la dieta Gainesville para larva de mosca soldado negra, la cual consta de 50% de salvado de trigo, 30% de alfalfa y 20% de maíz. Esta mezcla es preparada en proporción peso/peso 3:7 con agua purificada. 10 días después de comenzar la alimentación, la larva es destinada a la preparación de harina para uso en alimentación animal. Para lograr esto se sacrifican las larvas por congelación y posteriormente son llevadas al horno para su secado a 60°C por dos días, finalmente es molida y tamizada.



Figura 313. Larva de mosca soldado seca previa a molido (izquierda). Mosca soldado negra en jaulas de reproducción (derecha).

Se utilizaron 3 kg de cada una de las harinas para su caracterización e implementación en los alimentos balanceados. Fueron preservadas en cubetas de plástico con tapa para evitar su contaminación y su transporte al laboratorio de Bioingeniería.

V.4. Caracterización físico-química de harinas

Las determinaciones físicas y químicas se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, UAQ. Los métodos realizados se describen a continuación:

V.4.1. Determinación de humedad

Se realizó el método reportado por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-211-SSA1-2002 para métodos de prueba fisicoquímicos. Se utilizaron crisoles llevados al peso constante en estufa marca Memmert a temperatura de 100°C durante 24 horas. Se pesaron 2 g de la muestra húmeda en cada crisol utilizando una balanza analítica marca Precisa LS220A y se colocaron nuevamente en la estufa hasta llegar al peso constante. Se registró el peso de cada uno de los crisoles, así como su peso constante, peso de la muestra húmeda y peso de la muestra seca. El porcentaje de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{P2-P3}{P2-P1} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P1 = Peso constante del crisol (g)

P2 = Peso del crisol + muestra húmeda (g)

P3 = Peso del crisol + muestra seca (g)

V.4.2. Determinación de cenizas

Ya que se obtuvo la muestra seca en los crisoles a peso constante, se sometieron a la determinación de cenizas por el método de la norma NMX- F-066-S-1978 para alimentos. Las muestras fueron incineradas a 500°C en mufla Felisa por seis horas; se dejaron enfriar en desecador por aproximadamente dos horas para después registrar el peso de los crisoles con la muestra incinerada. El porcentaje de cenizas fue calculado por la Ecuación 2:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P2-P1)*100}{M} \quad (2)$$

Donde:

P1 = Peso constante del crisol (g)

P2 = Peso del crisol + cenizas (g)

M = Peso de la muestra seca (g)

V.4.3. Determinación de proteína cruda

Para obtener el porcentaje de proteína cruda en las muestras primeramente se realizó la determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl (Olvera-Novoa et. Al., 1993).

Se pesaron 0.2 g de muestra seca para ser sometidos a digestión ácida con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno grado reactivo al 30%. Posteriormente las digestiones se llevaron a la determinación de nitrógeno total por el método espectrofotométrico Nessler (Método HACH 8075, 2010) es espectrofotómetro DR/6000, HACH Company. Para calcular el contenido de proteína cruda se utilizó el factor 6.25 establecido para alimentos.

V.4.4. Determinación de grasas totales

El análisis de grasas se realizó por medio de una extracción soxhlet asistida con microondas marca Anton Paar por el método EPA 3546 utilizando como solución extractora hexanos y acetona (1:1). Cada extracción fue filtrada con papel filtro #42 y bomba de vacío marca Rocker Chemker 300. El filtrado se conservó en tubos de ensayo de vidrio previamente llevados al peso constante y para evaporar el solvente residual de los extractos se colocaron los tubos a baño maría en termobañero Thermo Scientific LabLine 18802AQ a 60°C. Finalmente el contenido de grasa totales se calculó por gravimetría de acuerdo a la Ecuación 3:

$$\% \text{ grasas totales} = \frac{(A-B)}{C} * 100 \quad (3)$$

Donde:

A = Peso del tubo + grasas (g)

B = Peso constante del tubo (g)

C = Peso de la muestra seca (g)

V.4.5. Determinación de carbohidratos totales

Se pesaron 100 mg de las muestras previamente secadas y molidas para someterse a hidrólisis con HCl 2.5 N y colocándose en baño maría por tres horas con termobañero Thermo Scientific LabLine; posteriormente se neutralizaron con carbonato de calcio, se aforaron a 100 ml y centrifugaron en centrífuga Metrix Dynamica Velocity 14R, el sobrenadante se conservó para ser colocado a baño maría frío y finalmente se añadió solución de antrona para reacción por ocho minutos en ebullición. Se preparó una curva de calibración con glucosa como estándar y se determinó la concentración a 630 nm en placa con un Multiskan marca Thermo Scientific. A partir de la ecuación generada por la curva de glucosa se calculó la concentración de carbohidratos en las muestras.

V.4.6. Determinación de calorías

Las calorías se determinaron de acuerdo al método isoperibólico. Se elaboró un pellet de peso entre 0.5 y 1 g de la muestra previamente secada con una peletizadora manual, este fue

incinerado en un calorímetro marca PARR modelo 6200 con ayuda de una bomba de combustión propia del equipo. Los resultados fueron proporcionados directamente por el equipo como calorías por gramo de muestra seca.

V.4.7. Determinación de minerales

Se determinó el contenido de Fe, Ca, Mn, Mg, Zn, Cu, K y Na de cada una de las harinas, así como de los alimentos experimentales por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica por flama continua (Aire-Acetileno). Se pesaron 0.5 g de las muestras secas para ser digeridas con HNO₃ y HCl en microondas Anton Paar por el método Animal Feed predeterminado en el equipo. Después, las digestiones fueron filtradas con acrodiscos de 0.45mM y aforadas con agua tridestilada. Ya que se tuvieron las digestiones listas, se realizó la determinación en el equipo de Absorción Atómica marca Shimadzu modelo AA-7000 utilizando lámparas de cátodo hueco para cada uno de los minerales a cuantificar.

V.5. Elaboración de alimentos experimentales

Después del balance de las diferentes dietas a probar, se procedió al mezclado de las harinas de acuerdo a los porcentajes propuestos para la elaboración de 3 kg de cada alimento. Se utilizó una batidora industrial con capacidad de 20 L y se añadió agua purificada hasta llegar a 25% de humedad en la mezcla; posteriormente se introdujo en una peletizadora rotativa con dos rodillos de fricción y una matriz para obtener pellets de 6 mm de diámetro. Los pellets fueron secados al sol y finalmente molidos para su uso como alimento en harina para tilapia en etapa de alevín. Los alimentos se almacenaron en cubetas de 10 L traslucidas con tapa.

V.6. Cultivo hiperintensivo de tilapia

Se utilizó un rack de 2.35 m de alto por 1.90 m de ancho diseñado especialmente para el cultivo de peces de forma hiperintensiva en el cuál se controlan las condiciones de cultivo. El sistema fue ubicado en el invernadero de producción acuícola del Laboratorio de Bioingeniería; se dividió en 5 secciones diferentes con seis peceras de 12 L de capacidad y sistema de recirculación de agua por cada sección. Las condiciones ambientales se

mantuvieron de la siguiente forma: oxígeno disuelto entre 3 y 5 mg/L con oxigenador marca AirSep, temperatura a 28°C +/- 2°C y pH del agua entre 7 y 9. Para mantener la calidad de agua del cultivo se utilizó para cada sección un filtro externo de canasta marca Aquajet de 200L de capacidad con luz UV integrada para desinfección del agua; fibra y esponja, anillos de cerámica y carbón activado como sistemas de filtración física, biológica y química respectivamente. El agua residual de cultivo era introducida directamente al filtro para su acondicionamiento y ésta era depositada en una tina de 60 L como reservorio, posteriormente el agua limpia era reingresada al sistema con una bomba sumergible marca Evans con flujo de 11 L/min. La Figura 4 muestra el acomodo del sistema de recirculación por cada sección del cultivo.

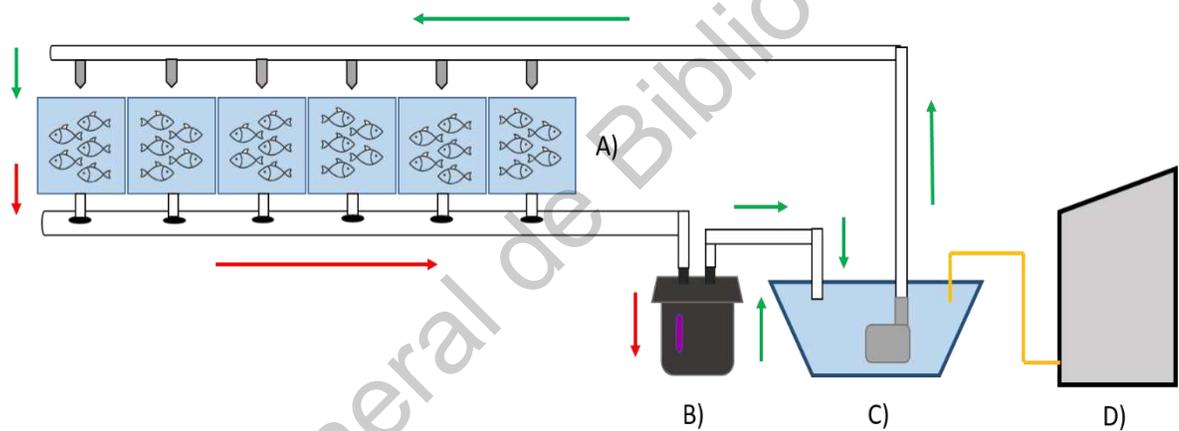


Figura 4. Diseño de sección de sistema de recirculación del cultivo hiperintensivo de tilapia. Las flechas indican el flujo de circulación del agua, en rojo la salida de agua y en verde las entradas de agua acondicionada. A) Peceras de acrílico de 12 L, B) Filtro externo de canasta, C) Reservorio de agua con bomba sumergible, D) Oxigenador conectado al reservorio.

Respecto a los organismos, se cultivaron tilapias de la especie *O. niloticus*, variedad supermacho, de 15 días de edad obtenidas de una granja acuícola ubicada en Ixmiquilpan, Hidalgo. Se introdujeron 90 peces por alimento formulado con un acomodo de 30 organismos por pecera. La experimentación se llevó a cabo durante 45 días y la alimentación se realizó con una frecuencia de 4 veces al día ajustando la cantidad de alimento de acuerdo al aumento de la biomasa con una ración del 10%.

V.7. Monitoreo de la calidad de agua

Para asegurar las condiciones ambientales del cultivo se llevó a cabo la medición de temperatura, oxígeno disuelto y pH del sistema de cultivo cada tercer día con un medidor multiparamétrico portátil modelo H140d marca Hach. Asimismo, los productos de nitrógeno se monitorearon una vez a la semana; Nitritos y Nitratos se determinaron por el método de diazotización (Método HACH 8507, 2010; Adaptado de USEPA, 1979) y Nitrógeno Amoniacal por el método Nessler (Método HACH 8038, 2010; Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500-NH3 B & C), la absorbancia fue medida en un espectrofotómetro portátil DR/6000, HACH Company, Loveland Colorado, USA.

V.8. Biometrías

Una vez por semana se tomaron biometrías al 10% de la población de peces según el tratamiento, estas constaron del pesaje y toma de longitud (Figura 5). El peso se midió con ayuda de una balanza Precisa BJ610C en donde se colocó un vaso con agua, se marcó en ceros la balanza y se introdujo al pez dentro del vaso para obtener así su peso húmedo. La talla se midió con un vernier Mitutoyo Absolute IP67.

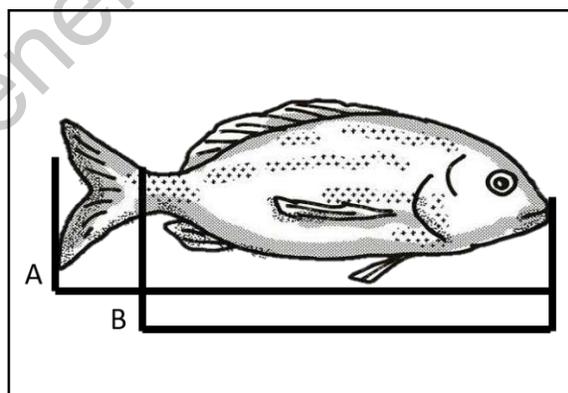


Figura 5. Esquema de la toma de longitud total (A) y longitud patrón (B) para peces.

V.9. Respirometrías

Para determinar el metabolismo aerobio de las tilapias alimentadas con las distintas dietas experimentales se llevaron a cabo dos respirometrías, una al inicio de la experimentación y la segunda al finalizar. Esta técnica consistió en seleccionar aleatoriamente tres organismos por tratamiento que fueron introducidos individualmente en cámaras respirométricas semi-cerradas con temperatura constante (28°C) y volumen conocido (1 L) para medir su consumo de oxígeno disuelto y excreta de amonio en un ciclo de 24 horas (Zheng et al., 2008). Las mediciones se realizaron cada cuatro horas con medidor multiparamétrico portátil modelo H140d marca Hach para el oxígeno y el nitrógeno amoniaco por el método espectrofotométrico de Nessler (Método HACH 8038, 2010; Adaptado de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 4500-NH₃ B & C). Adicionalmente se incluyeron tres cámaras sin pez como control para ser utilizadas como corrección del cálculo de oxígeno y amonio.

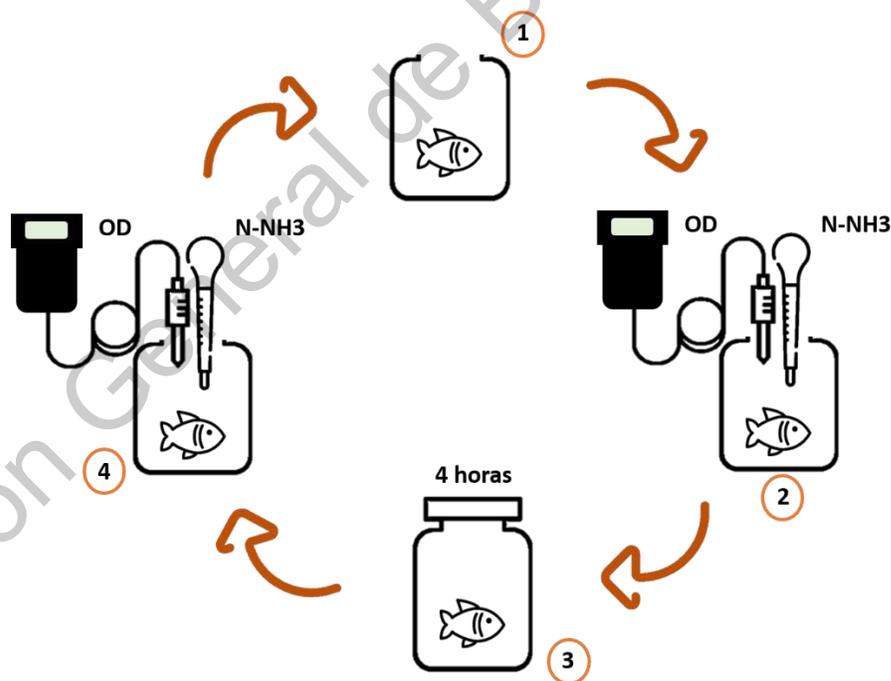


Figura 6. Procedimiento de respirometría en ciclo de 24 horas. 1) Introducción de organismo a cámara respirométrica, 2) Toma inicial de oxígeno disuelto (OD) y Amonio (N-NH₃), 3) Sellado de cámara respirométrica por cuatro horas, 5) Toma de oxígeno y nitrógeno al finalizar las cuatro horas.

A partir de los datos obtenidos, el consumo de oxígeno (OCR) y la excreta de amonio (AER) fueron calculados de acuerdo a la siguiente ecuación (Zheng et al., 2008):

$$OCR \text{ y } AER = \frac{(C_i - C_f)V}{DW * T} \quad (4)$$

Donde (Ci – Cf) representan la diferencia entre el contenido de oxígeno y amonio en las cámaras respirométricas (mg/L), V el volumen de la cámara (L), DW el peso seco del pez (g) y T el tiempo de duración entre toma de muestras (h). La relación O:N fue obtenido por la división del consumo de oxígeno y la cantidad de amonio excretado; este valor está vinculado con el tipo de sustrato catabolizado por el pez durante las 24 horas de la respirometría.

V.10. Variables asociadas a la producción

Con los datos biométricos recabados durante todo el tiempo de experimentación fue posible calcular los siguientes parámetros:

- Supervivencia (%):

$$\frac{\text{Organismos finales}}{\text{Organismos iniciales}} * 100 \quad (4)$$

- Peso ganado (%): este parámetro indica cuanto peso gano el individuo en un periodo de tiempo.

$$\frac{\text{Peso final} - \text{peso inicial}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (5)$$

- Tasa Específica de Crecimiento (%/día): indica la tasa a la que se aumenta el crecimiento del individuo en un periodo de tiempo.

$$\frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})}{\text{días del experimento}} * 100 \quad (6)$$

- Peso ganado individual (g/día): indica cuanto aumenta en peso un individuo en promedio por día.

$$\frac{\text{Peso final} - \text{peso inicial}}{\text{Edad en días}} \quad (7)$$

- Alimento consumido individual (g/día): cuanto alimento consume un individuo en promedio por día.

$$\frac{\varepsilon \text{ Alimento individual dado por semana}}{\text{Número de días}} \quad (8)$$

- Tasa de Conversión Alimenticia: eficiencia con la que los individuos convierten el alimento ingerido en biomasa. Valores bajos indican gran eficiencia en el uso del alimento.

$$\frac{\text{Alimento ingerido}}{\text{Peso ganado}} \quad (9)$$

- Relación de eficiencia proteica (P.E.R.) = (Peso ganado individual/ Consumo de proteína): este parámetro da una idea de la calidad de la proteína, si el pez no crece, este valor será de 0.

$$\frac{\text{Peso ganado individual}}{\text{Consumo de proteína}} \quad (10)$$

Dirección General de Bibliotecas UFRQ

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1. Balance teórico de dietas experimentales

A partir del hecho de que la proteína es el nutriente de mayor interés tanto para el crecimiento del pez como para el desarrollo de alimentos se realizó un balance isoproteico de tres dietas que proporcionarían el 45% de proteína. Se balanceó primeramente a este porcentaje debido a que la tilapia en etapa de alevín requiere de este contenido para adquirir un crecimiento óptimo (Mjoun Kamal et al., 2010). Para desarrollar el balance de dietas se determinaron los límites de inclusión de seis diferentes harinas utilizadas en la preparación de alimentos para tilapia, la Tabla 2 muestra los porcentajes de uso en dietas para tilapia (*O. niloticus*) de acuerdo al porcentaje de sustitución de harina de pescado; estas harinas fueron seleccionadas además de su aporte nutricional, por su fácil obtención, su uso común en la industria alimentaria y costos (El-Sayed, 2020):

Tabla 2. Comparación de límites de inclusión de harinas convencionales en dietas para tilapia del Nilo.

| Harina | Sustitución de harina de pescado (%) | Referencia |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Carne y hueso | 100 | El-Sayed (1998) |
| Soya | 75 | Tacon et al. (1983) |
| Maíz | 50 | Twibell and Brown (1998) |
| Salvado de trigo | 45 | Halver and Hardy (2002) |
| Gluten | 40 | Apper-Bossard et al. (2013) |

Los porcentajes de inclusión para las harinas alternativas fueron establecidos en 5% para microalga y tres porcentajes diferentes para larva de mosca soldado (5, 10 y 15%). Recientemente, (Abdelghany et al., 2020) recomendó la inclusión de *Nannochloropsis oculata* en 5% de la dieta para tilapia del Nilo para aumentar los parámetros productivos de su cultivo (ganancia en peso, tasa específica de crecimiento y consumo de alimento). Por otro lado, el uso de larva de mosca soldado negro en dietas para tilapia ha continuado en investigación en los últimos años, sin embargo, se ha recomendado su adición como sustitución parcial a la harina de pescado desde un 3 a un 15% en la dieta (Hua, 2021; Muin et al., 2017). A partir de esto último fue que se decidió balancear con harina de larva en los

porcentajes previamente mencionados. Cabe destacar que no se han encontrado reportes de alimentos balanceados para peces que incluyan a estas harinas alternativas en una mezcla única.

Ya que se definieron los límites de inclusión de las diferentes harinas, el balance y formulación de alimentos para el cultivo intensivo e hiperintensivo de tilapia dependió prácticamente de cinco nutrientes dietarios principales: proteína, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales (A.-F. M. El-Sayed, 2020).

Abdel-Tawwab y colaboradores (2010) reportaron el requerimiento óptimo de proteína dietaria para tilapias en etapa alevín en 45% de proteína cruda. Sin embargo, Miles & Chapman (2007) propusieron el balance proteico ideal para el desarrollo de alimentos para peces, el cuál constaba de proporcionar los aminoácidos necesarios para un organismo como parte de la formulación de la dieta y así disminuir el contenido de proteína cruda y maximizar el crecimiento del pez. Tanto la larva de mosca soldado negra como las microalgas han demostrado tener un balanceado perfil de aminoácidos apto para la alimentación de especies como la tilapia (Rumpold & Schlüter, 2013). Es a partir de esto que finalmente los alimentos balanceados para este trabajo incluyeron la modificación en el contenido de proteína cruda, formulando dietas con 35 y 25% de proteína cruda.

Durante el desarrollo de este trabajo se realizaron dos diferentes tipos de balances: el primero constó de dos harinas convencionales en conjunto con las harinas alternativas propuestas y el segundo a partir de seis ingredientes que incluían harinas vegetales y harinas de origen animal junto con las harinas de microalga y larva de mosca soldado. Las dietas propuestas fueron modificadas entre ellas debido a la aceptación que tuvieron los peces por los alimentos durante la validación de éstos en el cultivo de tilapia.

Como primera prueba, se seleccionaron dos harinas convencionales de origen vegetal que acompañaran a las harinas alternativas propuestas: harina de maíz y gluten de trigo. La primera es utilizada comúnmente en la formulación de alimentos para animales acuáticos como fuente de vitaminas, minerales y carbohidratos; ya que tiene un bajo contenido de proteína es comúnmente utilizada como aglutinante y un insumo de relleno en los balances (Bhosale et al., 2010). Por otro lado, el gluten de trigo se ha reportado como una fuente de proteína vegetal de alta calidad, altamente digestible y no se han mostrado sustancias

antinutricionales al ser utilizado como sustituto de la harina de pescado (Apper-Bossard et al., 2013).

A partir de la recaudación de datos nutrimentales obtenidos de las plataformas especializadas en la caracterización de insumos alimentarios, a continuación, se muestran los alimentos balanceados que fueron propuestos de forma teórica; en la Tabla 3 se muestra primeramente el porcentaje incluido en la dieta total y enseguida su composición química teórica:

Tabla 3. Balanceo teórico de alimentos balanceados con harinas alternativas, propuesta 1.

| Ingredientes (%) | Dietas experimentales | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
| Microalga | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| BSF | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 |
| Gluten de trigo | 52 | 50 | 48 | 37 | 35 | 33 | 23 | 21 | 19 |
| Harina de maíz | 38 | 35 | 32 | 53 | 50 | 47 | 67 | 64 | 61 |
| Composición química (%) | | | | | | | | | |
| Proteína | 45.43 | 45.52 | 45.61 | 35.21 | 35.30 | 35.39 | 25.67 | 25.76 | 25.85 |
| Grasas | 3.99 | 5.55 | 7.12 | 3.98 | 5.55 | 7.11 | 3.97 | 5.54 | 7.10 |
| Carbohidratos | 37.80 | 35.87 | 33.94 | 47.91 | 45.98 | 44.05 | 57.35 | 55.42 | 53.49 |
| Humedad | 7.76 | 7.52 | 7.28 | 7.46 | 7.22 | 6.98 | 7.18 | 6.94 | 6.70 |
| Cenizas | 3.02 | 3.67 | 4.33 | 3.01 | 3.66 | 4.31 | 2.99 | 3.64 | 4.30 |

A indica 45% de proteína cruda, B para 35% y C para 25%; los números 1, 2 y 3 representan el contenido de harina de larva en el alimento en 5, 10 y 15% respectivamente.

Como se puede observar en la tabla anterior, las dietas lograron ser balanceadas de forma isoproteica para los tres contenidos de proteína cruda total a probar, sin embargo, respecto a las grasas y los carbohidratos se obtuvieron valores teóricos inferiores y superiores, respectivamente, para algunas dietas (Mjoun Kamal et al., 2010). Las dietas C superaban el requerimiento de carbohidratos para tilapia (entre 35 y 40%) y todas las dietas propuestas se mantenían en los límites inferiores de requerimiento de grasas. A pesar de ello, las dietas fueron sometidas a caracterización química para determinar su contenido real de nutrientes. Como segundo balance, se utilizaron además de las harinas vegetales previamente mencionadas salvado de trigo, soya, harina de carne y hueso y aceite de larva de mosca soldado. El salvado de trigo es comúnmente utilizado los alimentos para peces debido a la

biodisponibilidad de sus componentes, específicamente de carbohidratos y minerales (Kassab AA, 2015). La harina de soya es aplicada como fuente de proteína para animales por su perfil balanceado y digestibilidad de aminoácidos en los peces; la soya es clasificada como fuente proteica vegetal competente para la sustitución de harina de pescado (Dersjant-li, 2002). Por otro lado, la harina de carne y hueso, que es obtenida de los rastros y propiamente procesada para uso en alimentación animal, funciona como un ingrediente alto en proteína y minerales, especialmente fósforo y calcio; su inclusión en las dietas de peces cambiará dependiendo la especie pero se le han atribuido valores favorables de digestibilidad (Moutinho et al., 2017). Finalmente, el aceite de larva de mosca soldado ha tenido ya sus aplicaciones en la alimentación de diversas especies acuáticas, ya que cuenta con ácidos grasos esenciales para peces como el ácido linoleico y alfa-linolenico (Li et al., 2016). Se desarrollaron nueve dietas experimentales a partir de las harinas anteriores con los mismos criterios propuestos para las harinas alternativas y el contenido de proteína cruda. La Tabla 4 muestra el balance teórico realizado:

Tabla 4. Balance teórico de alimentos para tilapia con harinas convencionales y alternativas, propuesta 2.

| Ingredientes (%) | Dietas experimentales | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
| Microalga | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Larva de mosca | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 |
| Harina de carne | 32 | 27 | 25.5 | 20 | 16 | 14 | 1 | 1 | 1 |
| Pasta de Soya | 30 | 30 | 26.5 | 20 | 20 | 20 | 16 | 11 | 6 |
| Gluten de trigo | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Salvado de trigo | 10 | 10 | 10 | 27 | 26 | 23 | 40 | 40 | 40 |
| Haina de maíz | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 |
| Aceite de larva de mosca | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Composición química (%) | | | | | | | | | |
| Proteína | 43.69 | 42.89 | 42.29 | 35.80 | 35.36 | 35.66 | 26.78 | 26.26 | 25.74 |
| Grasas | 10.83 | 11.84 | 13.23 | 9.88 | 10.97 | 12.24 | 8.06 | 9.61 | 11.16 |
| Carbohidratos | 16.04 | 16.71 | 17.06 | 30.04 | 30.07 | 28.81 | 45.97 | 46.18 | 46.40 |
| Humedad | 8.65 | 8.44 | 8.06 | 8.63 | 8.39 | 8.10 | 8.79 | 8.33 | 7.87 |
| Cenizas | 12.46 | 11.93 | 12.05 | 9.84 | 9.50 | 9.56 | 5.69 | 6.10 | 6.50 |

En esta tabla se puede observar que el gluten de trigo tuvo como limitante de inclusión al 10% en comparación con los balances de la prueba 1, esto fue debido a que recientemente (Saleh et al., 2021) publicaron el uso de gluten de trigo en la alimentación del sargo común (*Diplodus sargus*) y concluyeron que su uso en un mayor porcentaje del 15% afecta el crecimiento, desarrollo intestinal e inmunología de los peces. Además, debido a que en los balances de la prueba 1 se encontraba a esta harina en una mayor cantidad, se le atribuye la falta de aceptabilidad presentada por los peces.

La composición química teórica presentada para estas dietas experimentales fue modificada de manera importante ya que se logró aumentar el contenido de grasa en todas las dietas en comparación con las de la propuesta 1; esto se le atribuye además al contenido de aceite de larva de mosca soldado, el cuál fue incluido con un límite del 3% de acuerdo a lo reportado por (Dumas et al., 2018). Asimismo, se redujo el contenido de carbohidratos y se aumentó el contenido mineral representado en el contenido de cenizas. Respeto al balance proteico entre dietas, se puede observar que las dietas A correspondientes a 45% de proteína cruda total no fueron balanceadas hasta este porcentaje ya que los límites de inclusión de cada una de las harinas únicamente permitió conseguir entre un 42 y 43 % de proteína.

Si bien fue la segunda propuesta la que tuvo mejor respuesta de aceptabilidad por las tilapias, ambos balances fueron sometidos a caracterización química desde las harinas hasta su mezclado.

VI.2. Caracterización química de harinas

Las harinas convencionales fueron adquiridas de la tienda comercial “El Molino” ubicada en el mercado de La Cruz, municipio de Querétaro. Fueron transportadas al laboratorio de Bioingeniería para su uso en la elaboración de dietas y caracterización. La tabla 5 muestra los resultados obtenidos de la composición bromatológica de las harinas utilizadas para el balance de dietas. Los análisis fueron realizados previo a la elaboración de alimentos.

Tabla 5. Comparación de la composición proximal de harinas utilizadas para el desarrollo de alimentos balanceados para tilapia.

| Composición química (g/100g) | Harinas alternativas y convencionales | | | | | | Harina de carne y hueso |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------|-----------------|--------|------------------|---------------|-------------------------|
| | Larva de mosca soldado negro | Microalga | Gluten de trigo | Maíz | Salvado de trigo | Pasta de soya | |
| Proteína | 35.23 | 33 | 80.1 | 3.05 | 18.17 | 48.3 | 51.9 |
| Grasas totales | 26.96 | 23.66 | 1.09 | 0.26 | 0.68 | 0.07 | 4.60 |
| Carbohidratos | 3.64 | 7.61 | 10.39 | 85.68 | 53.69 | 15.54 | 6.25 |
| Humedad | 16.59 | 12.42 | 6.39 | 9.52 | 10.75 | 10.67 | 4.24 |
| Cenizas | 11.58 | 19.31 | 1.03 | 1.39 | 5.71 | 6.90 | 32.4 |
| Calorías (Cal/g) | 5576.53 | 4816.43 | 5369.39 | 3298.2 | 4241.442 | 3747.53 | 3700.06 |

Tanto la harina de larva de mosca como de microalga presentaron una composición química competente para suplir a la harina de pescado. El análisis proximal de esta última consta de 60-75% de proteína y 6 a 10% de grasas (A, 2015). Si bien, las harinas alternativas cuentan con un porcentaje de proteína menor al proporcionado por la harina de pescado, sus perfiles de aminoácidos han resultado favorables para cumplir el requerimiento de la tilapia, específicamente de Lisina y Arginina (Muin et al., 2017; Sarker et al., 2020) dándoles la posibilidad de reemplazar la proteína de pescado. Cabe mencionar que la composición química de las harinas alternativas puede verse afectada de acuerdo a sus condiciones de cultivo (Freire et al., 2016), es por esto que los insumos utilizados fueron obtenidos de un proceso estandarizado en las plantas piloto del Laboratorio de Bioingeniería.

Los valores obtenidos para el perfil bromatológico de cada una de las harinas variaron respecto a los utilizados para la formulación teórica de las dietas, esperando resultados diferentes al momento de analizar éstas, los cuales serán presentados en la sección siguiente.

VI.3. Caracterización química de dietas experimentales

Ya que se realizaron las mezclas de acuerdo a las proporciones propuestas para cada una de las harinas se sometieron de igual manera a análisis bromatológicos para determinar en que cantidad se estaban proporcionando los principales macronutrientes para la alimentación de tilapia (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de la composición proximal de alimentos balanceados, propuesta 1.

| Composición química (g/100g) | Dietas balanceadas | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
| Proteína | 58.8 | 54.25 | 53.02 | 40.92 | 43.22 | 47.79 | 30.16 | 14.57 | 26.02 |
| Grasas totales | 0.96 | 0.59 | 0.53 | 0.29 | 0.63 | 0.98 | 0.46 | 0.58 | 0.51 |
| Carbohidratos | 27.90 | 29.10 | 27.22 | 43.37 | 40.84 | 37.65 | 52.45 | 64.08 | 54.59 |
| Humedad | 6.72 | 10.81 | 11.59 | 11.88 | 11.21 | 8.86 | 11.73 | 14.21 | 13.75 |
| Cenizas | 2.43 | 3.25 | 3.64 | 2.54 | 3.10 | 3.72 | 2.20 | 4.56 | 3.13 |
| Calorías (Cal/g) | 4610.98 | 3983.15 | 4207.32 | 4199.84 | 3179.46 | 3827.07 | 3849.13 | 3954.97 | 3971.21 |

Los resultados obtenidos de las dietas realizadas en la propuesta 1 presentaron un mayor contenido de proteína comparado en el balance teórico presentado previamente. Esto puede ser atribuido a la presencia del gluten de trigo. Una dieta con un contenido proteico superior a los requerimientos del pez puede provocar una disminución en el crecimiento del pez, debido a que la proteína en exceso es utilizada como fuente de energía al convertirse en glucosa o lípidos y dejando de lado la producción de fibras musculares (Teles et al., 2020). Por otro lado, las dietas de la propuesta 1 basadas en solo cuatro insumos no presentaron un balance de nutrientes apto para la alimentación de tilapia. En general, las dietas carecían de contenido de grasas y las dietas B y C superaban el requerimiento de carbohidratos para la tilapia tal cual se había observado en el balance teórico de las dietas.

A partir de la falta de balance entre macronutrientes de los alimentos de la propuesta 1 fue que surgieron las dietas de la propuesta 2, la Tabla 7 muestra los resultados obtenidos de su análisis proximal:

Tabla 7. Comparación de composición química entre dietas balanceadas de la propuesta 2.

| Composición química (g/100g) | Dietas balanceadas | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
| Proteína | 45.1 | 43.6 | 42.6 | 35.7 | 34.6 | 34.9 | 25.4 | 26.2 | 26.01 |
| Grasas totales | 2.78 | 3.10 | 3.10 | 2.06 | 2.27 | 1.35 | 0.72 | 1.30 | 1.35 |
| Carbohidratos | 18.59 | 37.29 | 21.67 | 32.24 | 27.66 | 32.18 | 48.73 | 49.99 | 46.84 |
| Humedad | 7.66 | 6.57 | 7.02 | 7.65 | 7.69 | 10.30 | 8.91 | 9.08 | 7.18 |
| Cenizas | 2.91 | 3.32 | 3.05 | 3.48 | 3.69 | 2.88 | 3.21 | 3.11 | 3.08 |
| Calorías (Cal/g) | 4074.39 | 4215.44 | 4084.86 | 4042.15 | 3716.01 | 4107.34 | 3767.46 | 3978.25 | 3630.76 |

VI.4. Caracterización de minerales en dietas experimentales

A pesar de ser la menor proporción en los alimentos, los minerales son de vital importancia para el buen funcionamiento del metabolismo y formación musculo-esquelética de los peces (Irungu et al., 2018). En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de minerales en las diferentes dietas formuladas, así como de las harinas alternativas.

Tabla 8. Comparación de contenido de minerales entre las harinas alternativas y las dietas.

| Dietas | Minerales (ppm) | | | | | |
|-----------|-----------------|-----------|---------|-----------|----------|----------|
| | Fe | Ca | Mn | Mg | Zn | Na |
| Larva | | | | | | |
| Mosca | 218.082 | 14371.461 | ND | 7049.932 | 1107.742 | 996.253 |
| Soldado | | | | | | |
| Microalga | 46.106 | 3377.497 | 55.460 | 17219.924 | 387.817 | 1194.133 |
| A1 | 77.046 | 77.902 | 63.392 | 1073.54 | 179.109 | 2393.438 |
| A2 | 85.461 | 77.046 | 93.077 | 1151.854 | 122.887 | 2091.718 |
| A3 | 93.876 | 81.253 | 113.213 | 1187.920 | 129.459 | 2029.35 |
| B1 | 85.659 | 85.461 | 91.380 | 1412.447 | 180.785 | 1619.768 |
| B2 | 77.442 | 89.668 | 109.880 | 1438.219 | 122.797 | 1355.303 |
| B3 | 79.288 | 93.876 | 124.696 | 1487.999 | 122.514 | 1355.303 |
| C1 | 81.134 | 89.767 | 133.825 | 2160.426 | 118.309 | 491.047 |
| C2 | 78.517 | 85.659 | 99.886 | 1841.507 | 114.349 | 325.166 |
| C3 | 75.901 | 81.551 | 136.158 | 1858.665 | 116.261 | 474.827 |

Se puede observar que para las dietas A y B, el contenido de los seis minerales determinados aumentaba de acuerdo al contenido de larva de mosca soldado negra. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Irungu et al. (2018), en donde se sustituyó el 25, 50 y 75% de harina de camarón por larva de mosca soldado negra para alimentación de tilapia. Esto debido al contenido de minerales reportados para la larva, específicamente de Fe, Ca y Zn. Por otro lado, para la microalga se detectó la presencia de todos los minerales determinados para este trabajo en comparación con la harina de larva, así como una mayor concentración de Mg, Na y Mn.

VI.5. Elaboración de alimentos balanceados

A partir del balance teórico propuesto, se calcularon las proporciones para la preparación de 3 kilos de cada alimento balanceado; la Figura 7 muestra partes del proceso de preparación.



Figura 7. Preparación de alimentos balanceados de la propuesta 1. Pesado de harinas (izquierda) y mezclado de proporciones calculadas de harinas (derecha).

Posterior al mezclado de las harinas se añadió aproximadamente un litro de agua para llegar a un 25% de humedad previo al pelletizado de las dietas. La presencia del gluten en las mezclas de los alimentos de la propuesta 1 provocó dificultades para la homogenización de las harinas así como al momento de su pelletizado, ya que sus propiedades visco-elásticas y cohesivas aumentaban al contacto con el agua y complicando su procesamiento (Apper-Bossard et al., 2013). Contrario a esto, las dietas de la propuesta 2 que contenían una menor cantidad de gluten lograron ser mezcladas y procesadas sin complicaciones. Respecto a las harinas de larva y microalga, no se observaron cambios físicos al momento de ser combinadas y pelletizadas con el resto de las harinas. La Figura 8 muestra el producto final obtenido respecto a la elaboración de alimentos.



Figura 8. Alimento pelletizado obtenido posterior al secado.

VI.6. Cultivo hiperintensivo de tilapia y monitoreo de condiciones ambientales

El sistema de cultivo fue puesto en marcha una semana previa a la introducción de las tilapias. El flujo de recirculación para cada pecera fue de 500 ml/min, lo que permitiría el recambio total de agua de las peceras cada 25 minutos aproximadamente. Sin embargo, debido a la alta densidad de cultivo por pecera, se realizaban recambios de agua al 30% cada tercer día para mantener las condiciones del agua. El sistema de filtración y reservorios de agua también fueron limpiados dos veces por semana. La Figura 9 muestra el sistema de cultivo hiperintensivo durante la experimentación.



Figura 9. Sistema de cultivo utilizado para la validación de dietas balanceadas. A la izquierda se muestra la parte frontal del sistema y a la derecha la parte posterior del mismo con el sistema de filtrado.

Cada una de las secciones del sistema (cinco) fue monitoreada semanalmente respecto a la calidad de agua del cultivo, en la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos del mismo respecto a la concentración de nitrógeno amoniacal. El conteo de secciones inicia de arriba, con el número uno, hacia abajo del sistema.

Tabla 9. Comparación de la concentración de nitrógeno amoniacal del sistema de recirculación

N-NH₃ (mg/L)

| | Sección 1 | Sección 2 | Sección 3 | Sección 4 | Sección 5 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Semana 1 | 10.54 | 18.75 | 13.43 | 9.86 | 5.79 |
| Semana 2 | 0.78 | 3.23 | 3.71 | 0.27 | 1.88 |
| Semana 3 | 0.39 | 0.58 | 0.50 | 0.48 | 0.36 |
| Semana 4 | 1.47 | 6.62 | 1.28 | 2.00 | 0.71 |
| Semana 5 | 2.59 | 11.54 | 9.42 | 6.88 | 1.96 |
| Semana 6 | 0.53 | 7.59 | 4.45 | 1.70 | 2.57 |

Se puede observar que durante la primera semana hubo un aumento de la concentración de amonio comparado con las semanas posteriores, esto es debido a dos aspectos principales: el primero es el estrés que presentaban los organismos por la falta de adaptación al manejo, provocando una excreta de amonio elevada por el aceleramiento de su metabolismo. Otro aspecto importante relacionado con el amonio es la cantidad de proteína proporcionada en el alimento al pez y cómo es que este lo asimila. La presencia de amonio en un cultivo es derivada del uso de proteína como fuente energética por los peces, sin embargo, un exceso de este puede provocar un efecto negativo en el crecimiento del organismo, por lo tanto es necesario el balance de proteína con fuentes energéticas como carbohidratos y lípidos en la alimentación (Moraes and de Almeida, 2020). Respecto a las dietas distribuidas en el sistema, las dietas con 45% de proteína ubicadas en la sección 1 y 2 resultaron con mayor concentración de amonio a diferencia de las otras secciones; se le atribuye esto a la cantidad de proteína proporcionada a las tilapias en esta dieta.

Tabla 10. Monitoreo de la concentración de nitritos en cultivo de tilapia

| | N-NO₂ (mg/L) | | | | |
|----------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sección 1 | Sección 2 | Sección 3 | Sección 4 | Sección 5 |
| Semana 1 | 0.94 | 0.14 | 0.45 | 0.40 | 0.77 |
| Semana 2 | 12.43 | 8.14 | 3.09 | 11.08 | 11.86 |
| Semana 3 | 9.91 | 14.97 | 9.04 | 5.27 | 5.10 |
| Semana 4 | 3.44 | 1.11 | 6.42 | 3.36 | 2.30 |
| Semana 5 | 4.00 | 1.71 | 1.95 | 2.07 | 1.32 |
| Semana 6 | 6.12 | 1.26 | 0.76 | 3.19 | 1.92 |

La presencia de altas concentraciones de nitritos y nitratos en el agua de cultivo resultan tóxicas para los peces ya que afectan el funcionamiento de la hemoglobina y la disminución de actividad del sistema inmune. A pesar de ello, la tilapia es una especie robusta que logra soportar hasta 81 mg/L de nitritos y 500mg/L de nitratos sin afectar su desarrollo (Atwood et al., 2001)(Monsees et al., 2017) que comparado con los datos de las Tablas 10 y 11, se encuentran dentro del rango aceptado para el cultivo de tilapia.

Tabla 11. Monitoreo de la concentración de nitratos en sistema de recirculación experimental

| | N-NO₃ (mg/L) | | | | |
|----------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sección 1 | Sección 2 | Sección 3 | Sección 4 | Sección 5 |
| Semana 1 | 7.97 | 3.84 | 5.46 | 5.61 | 6.05 |
| Semana 2 | 39.54 | 24.05 | 11.07 | 33.64 | 29.22 |
| Semana 3 | 33.79 | 56.66 | 36.45 | 21.10 | 19.92 |
| Semana 4 | 12.24 | 3.98 | 26.55 | 15.49 | 9.29 |
| Semana 5 | 15.93 | 4.42 | 7.67 | 7.08 | 4.27 |
| Semana 6 | 23.01 | 7.52 | 5.90 | 12.98 | 8.70 |

Finalmente, el comportamiento de Oxígeno Disuelto (OD) en el agua de cultivo se muestra en la Figura 10, donde se observa un rango de entre 4 y 6 mg/L de OD para las cinco diferentes secciones. De acuerdo con (Makori et al., 2017), el rango de OD para el crecimiento óptimo de la tilapia es entre 3 y 5 mg/L. Por otro lado, estos mismos autores reportaron que el rango de temperatura para la tilapia va desde los 26 hasta los 36°C, sin embargo, esta última logra afectar las concentraciones de los iones de nitrógeno previamente mencionados. La temperatura dentro del sistema de recirculación utilizado para este trabajo estaba entre los 28 y 36°C.

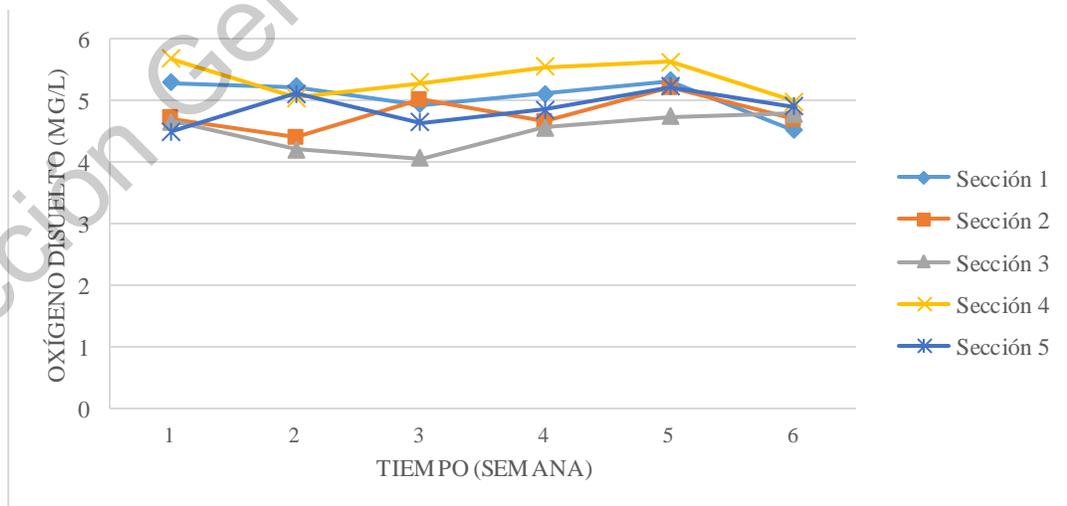


Figura 10. Comparación del comportamiento de oxígeno disuelto por cada sección del sistema de cultivo

VI.7. Validación de alimentos balanceados

VI.7.1. Comparación por ganancia en peso

Las dietas experimentales fueron proporcionadas satisfactoriamente al cultivo de tilapia. De acuerdo a lo datos de peso y talla medidos durante las 7 semanas del experimento se realizaron diferentes comparaciones. Primeramente, la Figura 11 muestra la comparación de los tres porcentajes de proteína determinados para formular las dietas balanceadas de acuerdo a la ganancia en peso promedio de los peces.

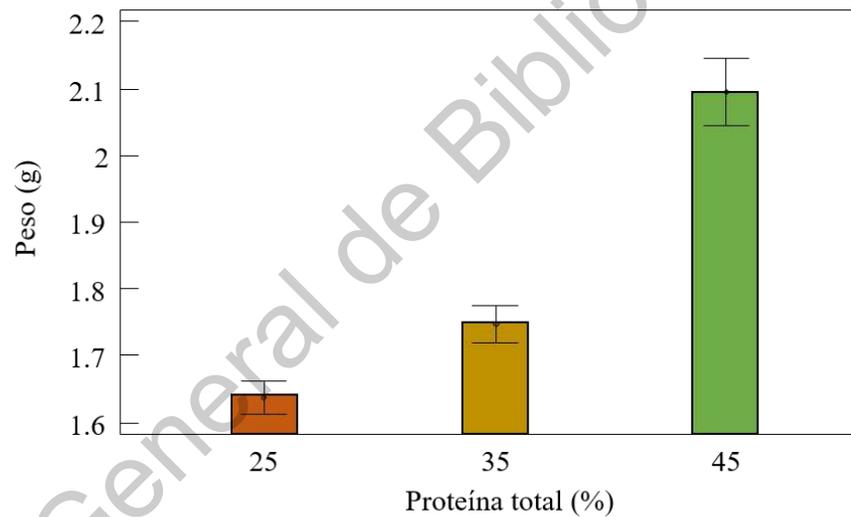


Figura 11. Comparación del aumento en peso por 7 semanas de acuerdo al porcentaje de proteína de las diferentes dietas.

Se puede observar notablemente la diferencia significativa presente entre los 3 porcentajes de proteína, siendo las dietas balanceadas a 45% de proteína las que tuvieron un aumento en la ganancia en peso para los organismos. De acuerdo con (Teles et al., 2020), existen diversos estudios que prueban los niveles de proteína ideales para la especie *O. niloticus*, concluyendo que el requerimiento va desde un 35 hasta 45% de proteína; este último variara de acuerdo al peso del organismo y a la fuente proteica. Para tilapias de 0.5 g, el requerimiento de proteína es de 45% cuando la dieta esta formulada con harina de pescado y soya. No obstante, el uso de harinas alternativas como la larva de mosca y microalga respecto al requerimiento proteico

de peces no ha sido previamente reportado para tilapia. Con los resultados de este experimento se puede deducir que ambas harinas alternativas deben ser utilizadas en formulaciones a 45% de proteína total para el desarrollo favorable de tilapia. Estudiar el efecto de inclusión de estas harinas alternativas a mayor profundidad, incluyendo factores como aminoácidos, perfil de ácidos grasos, micronutrientes y digestibilidad serán necesarios para optimizar el desarrollo de alimentos (Hua, 2021).

Por otra parte, se realizó la comparación de ganancia en peso entre las nueve dietas experimentales (Figura 12). En el gráfico se muestra el peso inicial y final obtenido durante las 7 semanas de experimentación.

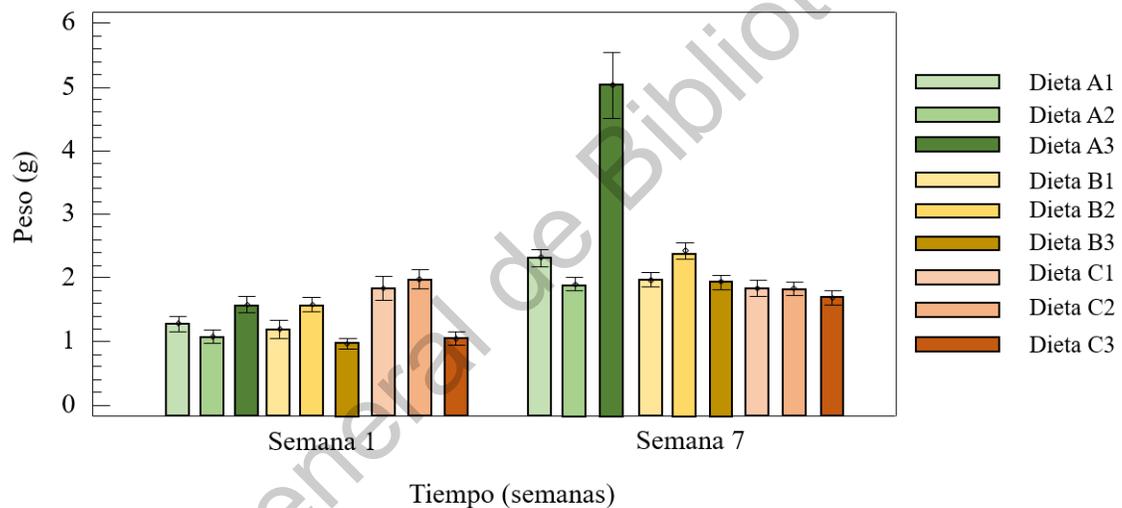


Figura 12. Comparación de la ganancia en peso inicial y final de tilapias alimentadas con dietas balanceadas experimentales.

Si bien se puede observar en el gráfico un aumento en el peso para cada una de las dietas, son las dietas A, con contenido de 45% de proteína, las que presentaron diferencias significativas de la semana 1 a la 7 y en específico la dieta A3, la cual contenía 15% de larva de mosca soldado. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (Fawole et al., 2020) en donde al incluir 11 y 17% de harina de larva de mosca soldado en dietas para bagre africano obtuvo una mayor ganancia en peso, aunque se utilizaba a la larva como sustituto parcial de la harina de pescado. Por otro lado, (Muin et al., 2017) recomendaron la inclusión de larva de mosca soldado hasta un 15% en la dieta de tilapia del Nilo con efectos favorables

en la ganancia en peso. Respecto a la inclusión de microalga, recientemente (Abdelghany et al., 2020) concluyeron que la inclusión de *N. oculata* en un 5% de la dieta de tilapia del Nilo mejora sus índices de crecimiento. Todas las dietas aquí presentadas incluían 5% de la microalga *N. limnetica* y no se observó una disminución en el crecimiento de los peces al ser combinada con la harina de larva de mosca. En cuanto a las dietas B y C también comparadas en la Figura 12 que obtuvieron una menor ganancia en peso, se le atribuye este resultado al balance de porcentaje total de proteína por la que fueron formuladas.

VI.7.2. Estado de salud relativa

Además del análisis sobre la ganancia en peso de las dietas, la relación peso-longitud es un parámetro importante debido a que a partir de este es posible conocer el estado de salud relativa de los organismos en cuestión (Olopade et al., 2018). Se realizó una regresión simple ajustada a modelo multiplicativo $Y = a \cdot X^b$, el coeficiente de regresión (b) proporciona información respecto al tipo de crecimiento del pez; si b es igual a 3 nos indica un crecimiento y una condición ideal, es decir, isométrico de acuerdo al peso y talla del pez. Cuando b es menor que 3 el pez pesa menos conforme va aumentando su talla indicando un crecimiento alométrico negativo; si el valor es mayor a 3 el pez aumenta su peso presentando un crecimiento alométrico positivo y siendo este último el reflejo de condiciones óptimas de crecimiento (Jisr et al., 2018). En la Tabla 12 se resumen los valores del intercepto y el coeficiente de regresión generados por la ecuación para cada una de las dietas durante las 7 semanas de experimentación.

Tabla 12. Valores del intercepto y pendiente obtenidos de la ecuación de regresión linear simple para cada una de las dietas. En paréntesis se muestra el error estándar, n indica el tamaño de muestra.

| Dieta | n | Intercepto (a) | Pendiente (b) |
|--------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| A1 | 376 | -11.2157 (0.08) | 3.01538 (0.02) |
| A2 | 383 | -10.7158 (0.10) | 2.88362 (0.02) |
| A3 | 291 | -10.923 (0.08) | 2.95117 (0.02) |
| B1 | 447 | -11.0726 (0.07) | 2.97281 (0.01) |
| B2 | 407 | -10.7242 (0.08) | 2.89158 (0.02) |
| B3 | 381 | -10.9775 (0.01) | 2.95511 (0.02) |

| | | | |
|-----------|-----|-----------------|----------------|
| C1 | 417 | -10.8314 (0.08) | 2.91458 (0.02) |
| C2 | 414 | -10.7084 (0.08) | 2.87808 (0.02) |
| C3 | 410 | -10.965 (0.11) | 2.94615 (0.02) |
| Comercial | 407 | -11.2738 (0.04) | 3.0669 (0.01) |

A pesar de que la dieta A3 mostró un aumento mayor en el peso de las tilapias comparada con el resto de los alimentos balanceados, se puede observar que la dieta A1 y B1 presentaron un mejor estado de salud relativa comparadas con la dieta A3, no obstante, todas las dietas experimentales están consideradas dentro de la clasificación de crecimiento isométrico de acuerdo a (Félix-Cuencas et al., 2021), que considera a los organismos como isométricos cuyos valores de b fluctúan entre 2.5 y 3.5. A partir de esto, es posible interpretar que el uso de larva de mosca soldado y microalga en conjunto dentro de la alimentación de tilapia no afecta su estado de salud relativa, incluyendo hasta un 15% de larva de mosca soldado en la dieta.

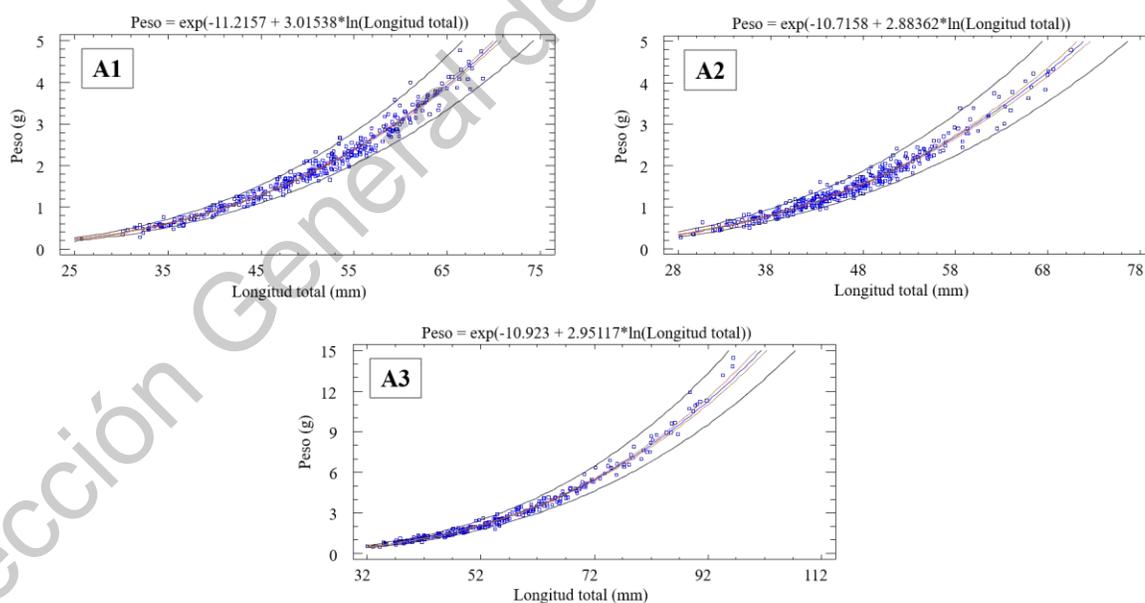


Figura 13. Gráficos generados de la regresión lineal ajustada a modelo multiplicativo para las dietas a 45% de proteína.

VI.7.3. Respirometría

Respecto al consumo de oxígeno y excreta de amonio, las respirometrías realizadas permitieron calcular cada uno de estos parámetros. La Figura 14 muestra el comportamiento del consumo de oxígeno durante 24 horas al inicio del experimento. Se puede observar un incremento para la mayoría de los tratamientos a las 19:20 horas, pero son las dietas C2 y C3 las que presentan una diferencia significativa al compararse con el resto. Esto indica un aumento en el estrés del organismo, ya que el consumo de oxígeno está relacionado con éste último. Además, esta variación entre dietas también está relacionado al manejo de los individuos ya la falta de adaptación a las condiciones de cultivo.

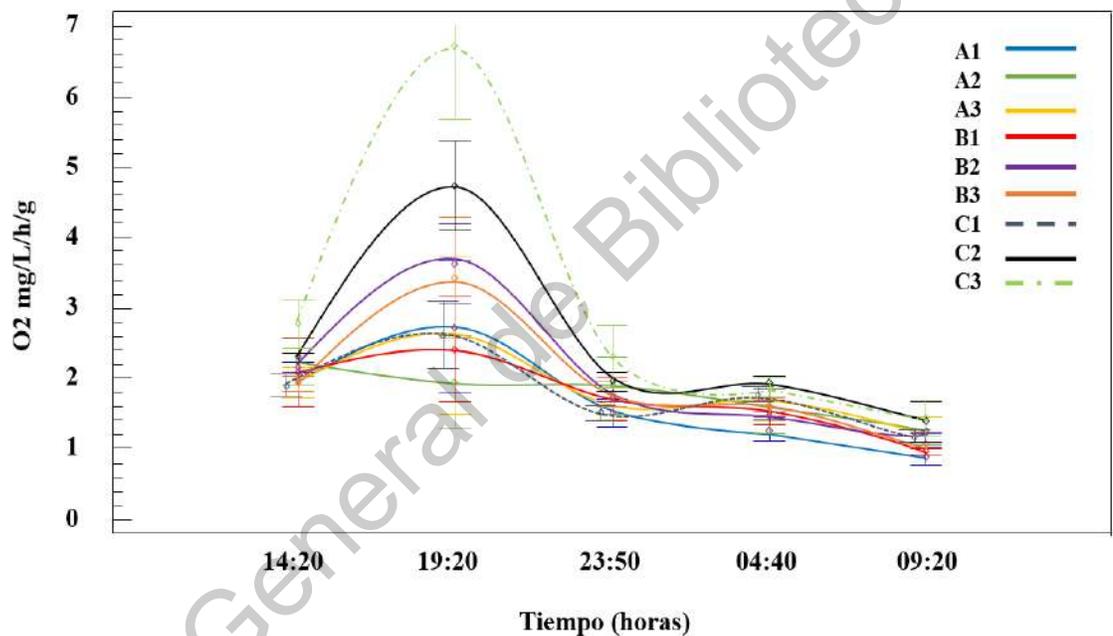


Figura 14. Comportamiento del consumo de oxígeno de tilapias en la semana 1 de experimentación durante 24 horas.

VI.7.4. Parámetros productivos del cultivo

El cálculo y comparación de los diferentes parámetros de producción permitieron evaluar el efecto que provocaría el cambio de alimentación en un cultivo de tilapia utilizando harinas de microalga y larva de mosca soldado (Tabla 13). Primeramente, el porcentaje de supervivencia nos permite determinar la tolerancia que tuvieron los organismos ante el cambio de alimentación. Se observa que la mayoría de las dietas obtuvieron un porcentaje

mayor al 90%, indicando una buena aceptación del alimento por los peces (Cummins Jr et al., 2017). Cabe mencionar que la supervivencia es de igual forma afectada por las prácticas de manejo y calidad de agua. Respecto al porcentaje de peso ganado, todas las dietas generaron valores menores comparados con el alimento comercial y fue la dieta A3 la que destacó entre los alimentos balanceados; el aumento en peso en los peces dependerá del tipo de alimento proporcionado y a su vez, modificará la calidad de su carne ya que el aumento puede provocarse al exceso de carbohidratos o lípidos. En las dietas experimentales, conforme disminuía el contenido de proteína total, se obtuvo una menor ganancia en peso; estos resultados confirman que, a pesar del uso de las harinas alternativas en la alimentación de tilapia como insumos de alta calidad proteica, será necesario ajustar su balance e inclusión hasta obtener 45% de proteína (A. F. M. El-Sayed & Teshima, 1992). La Tasa Específica de Crecimiento (T.E.C.) nos proporciona el porcentaje de crecimiento durante el tiempo de experimentación; las dietas que presentaron mejores valores de TEC corresponden a la dieta A3 y B1, no obstante, fueron menores al generado por la dieta comercial. Belghit et al. (2019) obtuvieron valores de TEC entre 0.8 y 0.9 al adicionar larva de mosca soldado a la alimentación de salmón y concluyeron que el 100% de reemplazo de la harina de pescado por larva no generó diferencias significativas en el desarrollo del pez.

Tabla 13. Comparación de las variables asociadas a la producción calculados para un cultivo de tilapia con diferentes alimentos balanceados

| | Alimentos balanceado | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Control | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 |
| Supervivencia (%) | 100 | 91 | 91 | 96 | 96 | 96 | 92 | 90 | 85 | 96 |
| Peso ganado (%) | 148.15 | 45.79 | 46.60 | 103.71 | 47.18 | 42.86 | 36.22 | 27.74 | 31.27 | 22.73 |
| Peso ganado ind. (g/día) | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.016 | 0.012 | 0.019 | 0.029 | 0.009 |
| Alim. cons. ind. (g/día) | 0.01 | 0.002 | 0.002 | 0.007 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| T.E.C. (%/día) | 4.33 | 1.79 | 1.82 | 3.38 | 1.84 | 1.69 | 1.47 | 1.16 | 1.29 | 0.97 |
| T.C.A. | 2.25 | 5.80 | 5.54 | 2.97 | 5.72 | 6.04 | 6.84 | 8.55 | 7.83 | 10.19 |
| P.E.R. | 0.99 | 0.38 | 0.40 | 0.75 | 0.50 | 0.47 | 0.42 | 0.47 | 0.51 | 0.39 |

La Tasa de Conversión Alimenticia (T.C.A.) nos permite conocer cuánto alimento será necesario para producir una mayor biomasa corporal en el pez, entre menor sea el valor nos indicará un menor uso de alimento para un mayor crecimiento. Las dietas A generaron los valores con mejor respuesta a la conversión alimentaria, y de entre éstas tres la dieta A3 obtuvo el mejor valor comparada con la dieta comercial. Comparando estos resultados con los obtenidos por Devic et al. (2018), la inclusión de 15% de larva en conjunto con 5% de microalga balanceada a 45% de proteína fue favorable, ya que ellos lograron obtener una tasa de 2.0 cuando se suplementaba la alimentación de tilapia con 5% de larva de mosca soldado. La Relación de Eficiencia Proteica (P.E.R.) funciona como un indicador para la calidad de proteína en los alimentos para peces y generalmente entre mayor sea el valor calculado, mayor es el aprovechamiento de la proteína proporcionada al organismo. Muin et al. (2017) reportaron valores de próximos a 1 al utilizar dietas con diferentes porcentajes de larva de mosca soldado para tilapia del Nilo, siendo su mejor dieta la que incluía 15% de larva. Para las dietas evaluadas en este trabajo, los valores obtenidos de PER fueron menores a 1, aunque la dieta A3 fue la que generó un valor cercano (0.75).

VII. CONCLUSIONES

Las harinas de larva de mosca soldado y microalga resultaron ser dos insumos con composición química balanceada capaz de sustituir a la harina de pescado, comúnmente presente en los alimentos comerciales, en la dieta de tilapia del Nilo en etapa de alevín.

Las dietas balanceadas que contenían la combinación larva-microalga tuvieron buena aceptación por las tilapias al ser suministradas bajo condiciones de cultivo hiperintensivo. No obstante, aquellas balanceadas a un contenido de proteína total de 45 y 35% presentaron un mejor efecto en el desarrollo del pez.

Respecto a los niveles de inclusión de larva de mosca soldado negra, es posible añadir hasta un 15% dentro de la dieta para tilapia en combinación con microalga sin afectar de forma significativa el crecimiento del pez.

VIII. REFERENCIAS

- A, M. R. . and C. F. (2015). The Benefits of Fish Meal in Aquaculture Diets. *University of Florida IFAS Extension*, May 2006, 1–6. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/FA/FA12200.pdf>
- Abdel-Tawwab, M., Khalil, R. H., Metwally, A. A., Shakweer, M. S., Khallaf, M. A., & Abdel-Latif, H. M. R. (2020). Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, organs-somatic indices, body composition, and hemato-biochemical variables of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 522(February), 735136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735136>
- Abdelghany, M. F., El-Sawy, H. B., Abd El-hameed, S. A. A., Khames, M. K., Abdel-Latif, H. M. R., & Naiel, M. A. E. (2020). Effects of dietary *Nannochloropsis oculata* on growth performance, serum biochemical parameters, immune responses, and resistance against *Aeromonas veronii* challenge in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*, 107, 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.10.015>
- Ahmad, M. T., Shariff, M., Md. Yusoff, F., Goh, Y. M., & Banerjee, S. (2020). Applications of microalga *Chlorella vulgaris* in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 328–346. <https://doi.org/10.1111/raq.12320>
- Apper-Bossard, E., Feneuil, A., Wagner, A., & Respondek, F. (2013). Use of vital wheat gluten in aquaculture feeds. *Aquatic Biosystems*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/2046-9063-9-21>
- Atwood, H. L., Fontenot, Q. C., Tomasso, J. R., & Isely, J. J. (2001). Toxicity of Nitrite to Nile Tilapia: Effect of Fish Size and Environmental Chloride. *North American Journal of Aquaculture*, 63(1), 49–51. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2001\)063<0049:tontnt>2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2001)063<0049:tontnt>2.0.co;2)
- Becker, W. (2007). Microalgae for Aquaculture: The Nutritional Value of Microalgae for Aquaculture. *Handbook of Microalgal Culture*, 380–391. <https://doi.org/10.1002/9780470995280.ch21>
- Bhosale, S. V., Bhilave, M. P., & Nadaf, S. B. (2010). Formulation of fish feed using ingredients from plant sources: Reasearch notes. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 1(3), 284–287.
- Carneiro, W. F., Castro, T. F. D., Orlando, T. M., Meurer, F., Paula, D. A. de J., Virote, B. do C. R., Vianna, A. R. da C. B., & Murgas, L. D. S. (2020). Replacing fish meal by *Chlorella* sp. meal: Effects on zebrafish growth, reproductive performance, biochemical parameters and digestive enzymes. *Aquaculture*, 528(June), 735612. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735612>
- Cashion, T., Le Manach, F., Zeller, D., & Pauly, D. (2017). Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish and Fisheries*, 18(5), 837–844. <https://doi.org/10.1111/faf.12209>
- CTAQUA. (2016). Alimentación Optimizada Para Tilapia Nilótica (*Oreochromis Niloticus*

) De Senegal. *Iforme de Vigilancia Tecnológica*, 1–48.

- Daniel, D. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(2), 164–179. www.fisheriesjournal.com
- Dersjant-li, Y. (2002). The Use of Soy Protein in Aquafeeds. *The Use of Soy Protein in Aquafeeds*, 541–558.
- Devic, E., Leschen, W., Murray, F., & Little, D. C. (2018). Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 416–423. <https://doi.org/10.1111/anu.12573>
- Dietz C., L. F. (2018). Does graded substitution of soy protein concentrate by an insect meal respond on growth and N-utilization in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? *Aquaculture Reports*, 12, 43–48.
- Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E., & Weltzien, E. (2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 492, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>
- El-Dahhar, A. A., Salama, M. E., & Moustafa, Y. T. (2014). Effect of Using Algae (*Nannochloropsis Oculata*) in Grey Mullet (*Liza Ramada*) Larval Diets on Growth Performance and Feed Utilization = على الطوبارة برفقات أعلاف في البحرية الطحالب استخدام تأثير = الغذاء من الاستفادة و النمو أداء. *Journal of The Arabian Aquaculture Society*, 9(1), 131–144. <https://doi.org/10.12816/0026641>
- El-Sayed, A.-F. M. (2020). Nutrition and feeding. In *Tilapia Culture*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816509-6.00007-0>
- El-Sayed, A. F. M., & Teshima, S. ichi. (1992). Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90278-S](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90278-S)
- FAO. (2018). De La Pesca Y La Acuicultura. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 3, Issues 1–2). <https://doi.org/10.3354/aei00054>
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*.
- Fawole, F. J., Adeoye, A. A., Tiamiyu, L. O., Ajala, K. I., Obadara, S. O., & Ganiyu, I. O. (2020). Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker. *Aquaculture*, 518(December 2019), 734849. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734849>
- Félix-Cuencas, L., García-Trejo, J. F., López-Tejeda, S., de León-Ramírez, J. J., Gutiérrez-Antonio, C., & Feregrino-Pérez, A. A. (2021). Nitrogen and phosphorus flux in

- wastewater from three productive stages in a hyperintensive tilapia culture. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 1–11. <https://doi.org/10.2166/wrd.2021.070>
- Freire, I., Cortina-Burgueño, A., Grille, P., Arizcun Arizcun, M., Abellán, E., Segura, M., Witt Sousa, F., & Otero, A. (2016). Nannochloropsis limnetica: A freshwater microalga for marine aquaculture. *Aquaculture*, 459, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.03.015>
- Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). *Feeds for the Aquaculture Sector*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6>
- Gbadamosi, O. K., & Lupatsch, I. (2018). Effects of dietary Nannochloropsis salina on the nutritional performance and fatty acid profile of Nile tilapia, Oreochromis niloticus. *Algal Research*, 33(April), 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.04.030>
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Hua, K. (2021). A meta-analysis of the effects of replacing fish meals with insect meals on growth performance of fish. *Aquaculture*, 530(May 2020), 735732. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735732>
- Hua, K., Cobcroft, J. M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D. R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M. J., Zeng, C., Zenger, K., & Strugnell, J. M. (2019). The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets. *One Earth*, 1(3), 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- Irungu, F. G., Mutungi, C. M., Faraj, A. K., Affognon, H., Tanga, C., Ekese, S., Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K. K. M. (2018). Minerals content of extruded fish feeds containing cricket (Acheta domesticus) and black soldier fly larvae (Hermetia illucens) fractions. *International Aquatic Research*, 10(2), 101–113. <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0191-8>
- Jisr, N., Younes, G., Sukhn, C., & El-Dakdouki, M. H. (2018). Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.11.004>
- Jones, S. W., Karpol, A., Friedman, S., Maru, B. T., & Tracy, B. P. (2020). Recent advances in single cell protein use as a feed ingredient in aquaculture. *Current Opinion in Biotechnology*, 61(Table 1), 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.026>
- Junning, C., Zhou, X., Xue, Y., Lucentea, D., & Laganaa, C. (2019). Top 10 species groups in global aquaculture 2017. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, June, 7. <http://www.fao.org/3/ca5224en/ca5224en.pdf>
- Kassab AA, B. I. (2015). Evaluation of Date Fiber as Feed Ingredient for Nile Tilapia

- Oreochromis niloticus Fingerlings. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 06(03). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000320>
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Tian, J., Zhou, J., & Yu, H. (2016). Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 465, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.020>
- Lock, E. R., Arsiwalla, T., & Waagbø, R. (2016). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 22(6), 1202–1213. <https://doi.org/10.1111/anu.12343>
- Magalhães, R., Sánchez-López, A., Leal, R. S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A., & Peres, H. (2017). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 476, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.021>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Makori, A. J., Abuom, P. O., Kapiyo, R., Anyona, D. N., & Dida, G. O. (2017). Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0075-7>
- Miles, R. D., & Chapman, F. A. (2007). The Concept of Ideal Protein in Formulation of Aquaculture Feeds. *University of Florida IFAS Extension*, 1–3. <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Mjoun Kamal, Kurt.A, & Brown Michael L. (2010). Tilapia : Environmental Biology and Nutritional Requirements. *South Dakota Coopertave Extension Service Fs963-02*, 1975, 7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.020>
- Monsees, H., Klatt, L., Kloas, W., & Wuertz, S. (2017). Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 48(7), 3482–3492. <https://doi.org/10.1111/are.13174>
- Moutinho, S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Oliva-Teles, A., & Peres, H. (2017). Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. *Aquaculture*, 468(999), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.024>
- Muin, H., Taufek, N. M., Kamarudin, M. S., & Razak, S. A. (2017). Growth performance, feed Utilization and body composition of nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed with different levels of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) maggot meal diet. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(2), 567–577.

- Nasopoulou, C., & Zabetakis, I. (2012). Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compounded fish feeds. A review. *LWT - Food Science and Technology*, *47*(2), 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.018>
- Olopade, O. A., Dienye, H. E., Jimba, B., Bamidele, N. A., & Taiwo, I. O. (2018). Length-weight relationship and condition factor of Guinean Tilapia *Coptodon guineensis* (Günther, 1862) from the New Calabar River and Buguma Creek, Nigeria. *Punjab University Journal of Zoology*, *33*(1), 42–46. <https://doi.org/10.17582/pujz/2018.33.1.42.46>
- Perez-Velazquez, M., Gatlin, D. M., González-Félix, M. L., & García-Ortega, A. (2018). Partial replacement of fishmeal and fish oil by algal meals in diets of red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, *487*(October 2017), 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.001>
- Qiao, H., Hu, D., Ma, J., Wang, X., Wu, H., & Wang, J. (2019). Feeding effects of the microalga *Nannochloropsis* sp. on juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Algal Research*, *41*(December 2018). <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101540>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *17*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Saleh, N. E., Helal, M., Ali, N. G., Abbas, E., & Abdel-Tawwab, M. (2021). Effects of using vital wheat gluten in practical diets on growth, intestinal histopathology, proinflammation-related gene expression, and resistance of white seabream (*Diplodus sargus*) to *Staphylococcus epidermidis* infection. *Aquaculture*, *537*(February). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736508>
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., McKuin, B., Fitzgerald, D. S., Nash, H. M., & Greenwood, C. (2020). Microalgae-blend tilapia feed eliminates fishmeal and fish oil, improves growth, and is cost viable. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75289-x>
- Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2019). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(4), 709–722. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>
- Shah, M. R., Lutz, G. A., Alam, A., Sarker, P., Kabir Chowdhury, M. A., Parsaeimehr, A., Liang, Y., & Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*, *30*(1), 197–213. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1234-z>
- Taelman, S. E., De Meester, S., Roef, L., Michiels, M., & Dewulf, J. (2013). The environmental sustainability of microalgae as feed for aquaculture: A life cycle perspective. *Bioresource Technology*, *150*, 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.044>
- Teles, A. O., Couto, A., Enes, P., & Peres, H. (2020). Dietary protein requirements of fish –

a meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1445–1477.
<https://doi.org/10.1111/raq.12391>

Yarnold, J., Karan, H., Oey, M., & Hankamer, B. (2019). Microalgal Aquafeeds As Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science*, 24(10), 959–970.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.06.005>

Zheng, Z., Jin, C., Li, M., Bai, P., & Dong, S. (2008). Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile miuy croaker, *Micthys miuy* (Basilewsky). *Aquaculture International*, 16(6), 581–589.
<https://doi.org/10.1007/s10499-008-9169-7>

Dirección General de Bibliotecas UNQ