



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA  
Y DISEÑO**



**“EFECTO DE LAS MEZCLAS DE GRASAS VEGETAL-  
ANIMAL EN LA SUSTITUCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL  
ACEITE DE PESCADO EN LAS DIETAS PARA CAMARÓN  
BLANCO (*Litopenaeus vannamei*)”.**

TESIS

Que para obtener el título de

**BIOINGENIERO**

PRESENTA:

**ATZIMBA ESPINOSA CISNEROS**

DIRECTOR DE TESIS

**Dr. EULALIO ARAMBUL MUÑOZ**

DIRECTOR DE TESIS

**Dra. DAYANIRA SHEIRA PANIAGUA MEZA**

**Ensenada, Baja California, Mayo de 2025**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO



**“EFECTO DE LAS MEZCLAS DE GRASAS VEGETAL-ANIMAL EN LA  
SUSTITUCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL ACEITE DE PESCADO EN LAS  
DIETAS PARA CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*)”.**

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**BIOINGENIERO**

PRESENTA:

**Atzimba Espinosa Cisneros  
360473**

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una  
revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los  
señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

Dr. Eulalio Arambal Muñoz

**DIRECTOR**

Dra. María Teresa Viana  
Castrillón  
SINODAL

Dra. Eunice Vargas Viveros  
SINODAL

Dra. Dayanira Sheira  
Paniagua Meza  
CODIRECTOR

Dr. David Cervantes  
Vásquez  
SINODAL

**“Por la Realización Plena del Ser”**

C.c.p.- Archivo  
C.c.p.- Minutario

## RESUMEN

**Palabras clave: CAMARÓN, PALMISTE, ÁCIDOS GRASOS, CRECIMIENTO.**

En este estudio, se evaluó la sustitución parcial a total del aceite de pescado por una mezcla de grasas compuesta por grasa de ave (40%), aceite de palmiste (60%) y concentrado rico en DHA derivado de microalgas en dietas para *Litopenaeus vannamei*. Los resultados mostraron que los tratamientos con sustitución parcial (TB y TM) mantuvieron un crecimiento y factor de conversión alimenticia (FCA) comparables al grupo Control, mientras que la sustitución total (TA) presentó una leve disminución en el FCA, pero con un mayor crecimiento con respecto a los demás tratamientos. Se observó una bioacumulación progresiva en el hepatopáncreas conforme la inclusión de la mezcla de grasas aumentó, especialmente en el tratamiento TA. Tratamiento que, aunque con la ausencia de EPA, se estimó que alrededor del 70% de los AG consistían en SFA y MUFAs. Mientras que los parámetros bioquímicos de la hemolinfa no mostraron alteraciones significativas, indicando que las mezclas grasas no afectaron negativamente la salud metabólica del camarón. Estos hallazgos sugieren que la combinación de grasas aves, palmiste y DHA es una alternativa prometedora para reducir la dependencia de recursos marinos en acuicultura, optimizando costos y mejorando la sostenibilidad. Sin embargo, se requiere investigar más a fondo para ajustar las proporciones óptimas entre las fuentes grasas utilizadas y garantizar un equilibrio adecuado entre ácidos grasos esenciales como EPA y DHA.

## **ABSTRACT**

**Keywords: SHRIMP, KERNEL, FATTY ACIDS, GROWTH.**

In this study, the partial and total replacement of fish oil with a fat blend composed of poultry fat (40%), palm kernel oil (PKO; 60%), and a DHA-rich concentrate derived from microalgae was evaluated in diets for *Litopenaeus vannamei*. The results showed that partial replacement treatments (TB and TM) maintained growth and feed conversion ratio (FCR) comparable to the Control group. In contrast, total replacement (TA) exhibited a slight decrease in FCR but higher growth compared to the other treatments. Progressive bioaccumulation was observed in the hepatopancreas as fat inclusion increased, particularly in treatment TA. Although the absence of EPA was notable, it was estimated that approximately 70% of the fatty acids (FAs) were saturated (SFA) and monounsaturated (MUFA), aligning with previous research. The biochemical parameters of the hemolymph showed no significant alterations, indicating that the fat blends did not affect negatively the shrimp's metabolic health. These findings suggest that combining poultry fat, kernel, and DHA is a promising alternative to reduce reliance on marine resources in aquaculture, optimize costs, and enhance sustainability. However, further research is required to refine the optimal ratios among the fat sources and ensure an adequate balance of essential fatty acids such as EPA and DHA.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo.

En primer lugar, a la Universidad Autónoma de Baja California, por darme mi formación académica como Bioingeniera a través de la FIAD, de igual forma al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por abrirme las puertas de sus instalaciones, facilitar recursos para la investigación y, sobre todo, por formar parte de mi trayectoria como profesional.

Un especial agradecimiento a la Dra. María Teresa Viana por aceptarme en su laboratorio, al igual por todas las oportunidades de conocimiento y sobre todo por el apoyo incondicional dentro y fuera del laboratorio.

Al Dr. Eulalio Arambul, director de mi tesis, por su constante orientación, paciencia y valiosas contribuciones académicas, las cuales enriquecieron significativamente cada etapa de esta investigación.

Asimismo, deseo expresar mi agradecimiento a todos los miembros del Laboratorio de Nutrición y Fisiología Digestiva, en especial a la Mtra. Aurora, al Dr. Oscar Del Río, al Dr. Emyr Peña y a mis compañeros *Adrián, Andrea, Escarlt, Martín, Carlos*, por su apoyo y enseñanzas durante el desarrollo de este trabajo.

A mi codirectora Dra. Dayanira Paniagua y sinodales Dra. Eunice Vargas, Dr. David Cervantes por disponibilidad, aportes críticos y su enfoque constructivo que fueron fundamentales para enriquecer el enfoque metodológico y conceptual de este trabajo.

A los profesores y profesionales de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, cuyo conocimiento y apoyo fueron fundamentales para mi formación. También, a mis compañeros de estudio y amigos, por su motivación, colaboración en momentos clave y por compartir este camino lleno de desafíos.

Finalmente a mi familia, especialmente a mis padres Edith Cisneros y Ariel Espinosa, a mi compañero de vida Abdiel Aparicio, por su respaldo incondicional, comprensión durante los periodos de estrés y por creer en mí incluso en los momentos de duda. Este logro es también el reflejo de su amor y estímulo constante. Gracias a todos por hacer posible que este proyecto llegue a su culminación.

## CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| VOTOS APROBATORIOS .....                                       | I   |
| RESUMEN .....  | II  |
| ABSTRACT .....   | III |
| AGRADECIMIENTOS .....  | IV  |
| CONTENIDO.....   | V   |
| 1. GLOSARIO.....   | VI  |
| 2. INTRODUCCIÓN.....   | VII |
| 3. HIPÓTESIS .....   | 1   |
| 4. OBJETIVO GENERAL.....                                       | 1   |
| 4.1. Objetivos específicos.....                                | 1   |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                  | 2   |
| 5.1. Diseño Experimental .....                                 | 2   |
| 5.2. Condiciones de cultivo.....                               | 2   |
| 5.3. Formulación y preparación de alimento .....               | 3   |
| 5.4. Crecimiento y desempeño .....                             | 6   |
| 5.5. Análisis químicos.....                                    | 7   |
| 5.6. Química sanguínea .....                                   | 9   |
| 5.7. Análisis estadístico .....                                | 10  |
| 6. RESULTADOS .....  | 10  |
| 6.1. Desempeño zootécnico. ....                                | 10  |
| 6.2. Perfil de ácidos grasos en hepatopáncreas y músculo. .... | 11  |
| 6.3. Digestibilidad aparente .....                             | 14  |
| 6.4. Química sanguínea .....                                   | 14  |
| 6.5. Regresiones polinómicas.....                              | 15  |
| 7. DISCUSIÓN .....   | 18  |
| 8. CONCLUSIONES.....   | 21  |
| 9. RECOMENDACIONES.....  | 21  |
| 10. BIBLIOGRAFÍA .....   | 22  |

# 1. GLOSARIO

|                   |   |
|-------------------|---|
| AA                | → Aminoácidos   |
| AAFCO             | → Asociación Estatal Estadounidense de Control de Alimentos |
| AG                | → Ácidos Grasos   |
| AGE               | → Ácidos grasos esenciales                                  |
| ALA               | → Ácido alfa linolénico                                     |
| Alim              | → Consumo de alimento (%día <sup>-1</sup> )                 |
| ANOVA             | → Análisis de varianza                                      |
| AW                | → Peso de ceniza  |
| BSA               | → Albúmina sérica bovina                                    |
| CaCO <sub>3</sub> | → Carbonato de calcio                                       |
| CHO               | → Colesterol  |
| CONTROL           | → Tratamiento control                                       |
| CW                | → Peso del crisol   |
| DHA               | → Ácido docosahexaenoico                                    |
| DMW               | → Peso de materia seca                                      |
| EPA               | → Ácido Eicosapentaenoico                                   |
| FAME              | → Ésteres metílicos de ácidos grasos                        |
| FANs              | → Factores antinutricionales                                |
| FC                | → Factor de condición                                       |
| FCA               | → Factor de conversión alimenticia                          |
| FID               | → Detector de ionización de llama                           |
| FIFO              | → Fish In: Fish Out   |
| FM                | → Harina de pescado   |
| FO                | → Aceite de pescado   |
| GLU               | → Glucosa   |
| GP                | → Ganancia de peso  |
| HCl               | → Ácido clorhídrico   |
| IA                | → Ceniza insoluble en ácido                                 |
| IHS               | → Índice hepatosomático                                     |
| ISO               | → Organización Internacional de Normalización               |
| LC-PUFAS          | → Poliinsaturados de cadena larga                           |
| Lys               | → Lisina  |
| MCFA              | → Ácidos grasos de cadena media                             |
| Met               | → Metionina   |
| MUFAs             | → Monoinsaturados   |
| NH <sub>3</sub>   | → Amoníaco  |
| No                | → Número inicial de camarones                               |
| NO <sub>2</sub>   | → Dióxido de nitrógeno                                      |
| NRC               | → Consejo Nacional de Investigación                         |
| Nt                | → Número total de camarones                                 |
| PBM               | → Harina a base de subproductos de ave                      |
| PF                | → Peso final  |
| pH                | → Potencia de hidrógeno                                     |
| PKO               | → Aceite de palmiste  |
| PI                | → Días después de la metamorphosis de Mysis.                |
| PO                | → Aceite de palma   |
| PUFAs             | → Poliinsaturados   |
| RAS               | → Sistema de acuicultura en circuito cerrado                |
| SFA               | → Saturados   |
| Sv                | → Tasa de supervivencia                                     |
| TA                | → Tratamiento alto  |
| TB                | → Tratamiento bajo  |
| TEC               | → Tasa específica de crecimiento                            |
| TG                | → Triglicéridos   |
| TM                | → Tratamiento medio   |
| TP                | → Proteína total  |
| TTC               | → Tasa térmica de crecimiento                               |

## 2. INTRODUCCIÓN

El camarón blanco *Litopenaeus vannamei* es una especie que representa un importante recurso para la acuicultura, debido a su alta demanda comercial así como a su importancia en la industria alimentaria por su aporte nutricional, como fuente rica en carotenos, omega-3, antioxidantes, vitamina A, B3, B9 y B12 (Cobo-Abrantes y Pérez-Jar, 2018).

Esta especie se distribuye en la costa oriental del Océano Pacífico, desde el Alto Golfo de California hasta Perú. Su cultivo data desde 1973, la primera reproducción artificial se logró en Florida, a partir de nauplios procedentes de una hembra ovada silvestre capturada en Panamá. Tras los resultados positivos obtenidos en estanques, el cultivo del camarón blanco inició en Sudamérica, Hawái y en el área continental de Estados Unidos de Norte América (EUA). La producción en México de esta especie inició en la Universidad de Sonora a principios de la década de los 70's, en la segunda mitad de la década de los 80's se inician los cultivos comerciales (FAO, 2024).

El camarón blanco es un crustáceo decápodo del suborden Dendrobranchiata, que normalmente presenta una coloración blanca translúcida que puede cambiar dependiendo del sustrato, alimentación o la turbidez del agua. Llegan a alcanzar una talla máxima de 23 cm con una longitud cefálica máxima de 9 cm (Briggs, 2009). Esta especie se divide morfológicamente en tres zonas: cefalotórax (cabeza), abdomen (cuerpo) y telson (cola). Todos sus órganos se encuentran en el cefalotórax: cerebro trilobulado con un ganglio supraesofágico, un corazón ventral conectado con el hemoceloma y el sistema digestivo que está formado por boca, estómago y hepatopáncreas (órgano crucial, que está vinculado a la absorción, transporte y metabolismo de los ácidos grasos). El sistema nervioso central atraviesa el tórax y abdomen, el intestino y glándula intestinal, que también se encuentran en el abdomen y al principio del telson podemos encontrar el ano (Martínez-Córdova, 1999).

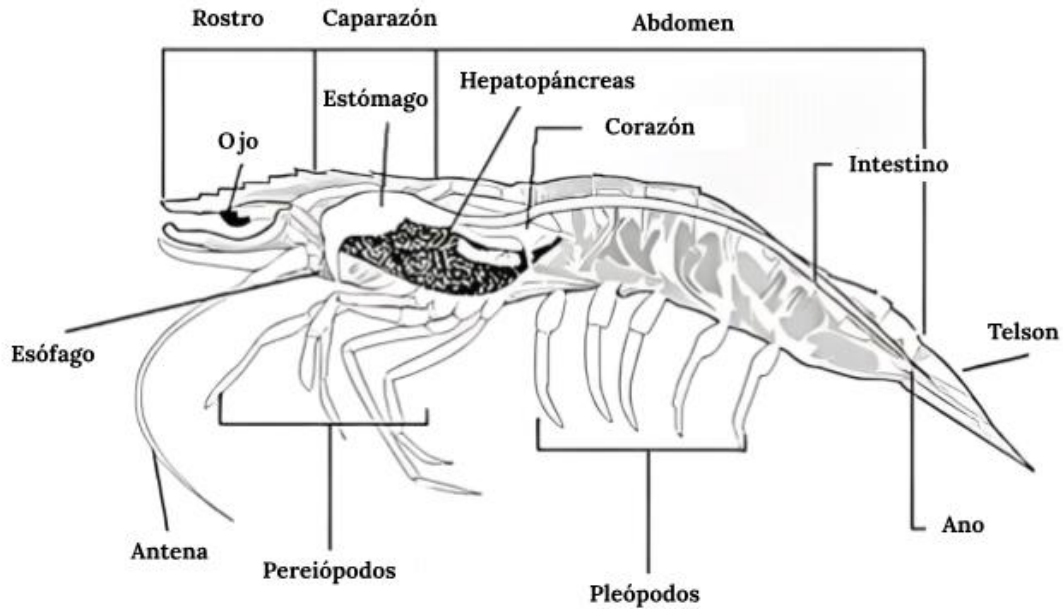


Figura 1. Anatomía externa y estructuras asociadas del *Litopenaeus vannamei*  
(Tomada de Bondad-Reantaso *et al.*, 2001)

El hábitat de esta especie depende de la etapa de desarrollo en la que se encuentre (nauplio, protozoa, mysis, postlarva, juvenil y adulto), regularmente las condiciones óptimas se encuentran en un rango de temperatura de 20 a 28°C y salinidad de 0 a 50 ppm. En su etapa larval (nauplio, protozoa, mysis, postlarva) tienen hábitos planctónicos, en la juvenil se encuentran más cerca de la costa y permanecen en las bahías o en zonas poco profundas. Mientras que en la fase como adulto, dependiendo la época del año y su ciclo reproductivo, se distribuyen en esteros, bahías, áreas de manglar inundado y fondos próximos a la costa (Martínez-Córdova, 1999).

Su alimentación también va de la mano de sus distintas etapas de desarrollo, solo la etapa de nauplio no requiere alimentación, sino que se nutren de su reserva vitelina. Las etapas de protozoa y mysis se alimentan de fitoplancton y de zooplancton. Las postlarvas cambian sus hábitos planctónicos a bentónicos unos días después de su metamorfosis (Briggs, 2009). Una vez que sucede el cambio, los requerimientos nutricionales de esta especie se modifican y los ácidos grasos (AG) esenciales se priorizan, como son los de cadena larga (LC-PUFA), particularmente los AG poliinsaturados (PUFAs) n-3 como el ácido Docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3) y el ácido Eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) (Arambul *et al.*, 2024). Estos AGE son de gran relevancia en la nutrición de crustáceos, ya que son constituyentes de

membranas celulares, y son cruciales para un correcto funcionamiento metabólico y estructural (Sargent *et al.*, 2003).

Ahora bien, es preciso conocer a detalle sus hábitos alimenticios y demandas energéticas para lograr una formulación correcta de dietas que puedan mejorar el crecimiento y sobrevivencia en los cultivos extensivos, semi-intensivos, intensivos e hiper-intensivos. A nivel industrial, las dietas para animales acuáticos emplean harina de pescado (FM) y aceite de pescado (FO) como fuentes proteica y lipídicas preferidas debido a su alto valor nutricional y su riqueza en AG PUFAs-n3 (Li *et al.*, 2025). Sin embargo, la elevada demanda de estos productos ha incrementado significativamente su precio en el mercado, lo que a su vez repercute en mayores costos de producción de alimentos.

En 2022, la producción mundial de animales acuáticos se estimó en 185.4 millones de toneladas, de las cuales más de 164.6 millones de toneladas (89%) se emplearon para consumo humano y 20.8 millones de toneladas restantes (11%) se destinaron principalmente para la producción de FM y FO. Cabe destacar que 91 millones de toneladas (49%) de la producción mundial de animales acuáticos se debe a la pesca de captura (FAO, 2024). Kok *et al.* (2020) mencionan que cada kilogramo de pescado silvestre capturado soporta (alimenta) la producción de 4.55 kg de pescado de cultivo, por ende es requerido que se realicen evaluaciones de eficiencia, para el uso de ingredientes marinos en la acuicultura. Organizaciones como “Fish In: Fish Out” (FIFO) se han convertido en la principal métrica utilizada para garantizar que la acuicultura no afecte negativamente a las poblaciones de peces silvestres. Adicional a eso, actualmente existen normas ISO que regulan aspectos medioambientales y de responsabilidad social (ISO 14001: 2015; ISO 26000: 2010) que avalan la correcta obtención de materia prima, minimizando el impacto negativo al ambiente marino, no obstante no se puede tener la garantía de que el 100% de la producción de FO y FM cumple con tales normas (Heires, 2008).

En la actualidad se busca hacer una diferencia con el uso materias primas de origen animal y vegetal, como son; productos de origen avícola, porcino y bovino. Además del uso de plantas, semillas o frutos con un alto valor nutricional. Una buena alternativa a la hora de sustituir un producto es hacer uso de un subproducto de origen animal. En México una gran variedad de materia prima procedente de los rastros y de

los desperdicios de las cosechas, están ampliamente disponibles (Mendoza *et al.*, 1998). Riche (2015) afirma que los subproductos avícolas procesados tienen un alto contenido de proteína bruta y contienen perfiles favorables de aminoácidos (AA) para el reemplazo de FM.

Diversos estudios (Mendoza *et al.*, 1998; Rawles *et al.*, 2006; Sabbagh *et al.*, 2019) consideran que una proteína alternativa adecuada al FM y FO en dietas para especies acuícolas (carnívoras y omnívoras) es la harina a base de subproductos de ave (PBM), debido a su alto volumen de producción, composición nutricional (650 g kg<sup>-1</sup> proteína cruda; 147 g kg<sup>-1</sup> grasa cruda; 186 g kg<sup>-1</sup> cenizas) en comparación con la FM (647 g kg<sup>-1</sup> proteína cruda; 95 g kg<sup>-1</sup> grasa cruda; 231 g kg<sup>-1</sup> cenizas) (Manríquez, 2020). Rawles *et al.* (2006) evaluaron el uso de harina de PBM en dietas para el cultivo de lobina rayada híbrida (*Morone chrysops*, *M. saxatilis*), observando un rendimiento de crecimiento satisfactorio sustituyendo el 35% o el 70% de la FM en la dieta genérica con PBM sobre una base de proteína digerible y posteriormente suplementando con Met y Lys, concluyendo que las PBM son opciones prometedoras en la acuicultura de especies carnívoras. Sabbagh *et al.* (2019) investigaron la sustitución de FM con PBM en dietas para el pez dorado (*Sparus aurata*), encontrando que esta sustitución (dos dietas experimentales, que contenían PBM con 50% y 100% de sustitución de FM respectivamente) no afecta negativamente el rendimiento productivo, indicando que la PBM pueden ser una fuente nutricional eficiente.

La Asociación Estatal Estadounidense de Control de Alimentos (AAFCO por sus siglas en inglés), dictamina que la elaboración PBM debe consistir en partes limpias, procesadas y molidas del ave sacrificada, tales como pescuezo, patas, huevos no desarrollados e intestinos, teniendo como excepción las plumas (Sabbagh *et al.*, 2019). Aunado a esto, Blas (2019) comenta que la grasa procedente de ave es de interés para la sustitución de FO, debido a que se puede encontrar un gran contenido de AG como son: Palmítico (16:0), Palmitoleico (16:1), Esteárico (18:0), Oleico (18:1), Linoleico (18:2), Linolénico (18:3), además de una presencia considerable de DHA (22:6), pero con ausencia de EPA (20:5). Esta ausencia de AG pueden presentar características negativas, como desequilibrios de AA o la presencia de factores antinutricionales (Gatlin *et al.*, 2007), lo que influye negativamente en su rendimiento de crecimiento y en la composición de AG musculares. Según los autores

Zhou *et al.* (2023), las dietas bajas en EPA y DHA pueden provocar un aumento de la peroxidación lipídica y una reducción de la inmunidad no específica en el camarón blanco del Pacífico.

Se debe plantear el uso de aceites de origen vegetal que puedan aportar el valor nutricional significativo. Entre los aceites más utilizados en la industria se encuentran: la soya, el girasol, la colza, la oliva y la palma. Durante años se han utilizado semillas, cereales y leguminosas como suministro de energía y proteína, esto debido a que son alimentos completos. Contienen simultáneamente carbohidratos, proteínas, lípidos y algunos micronutrientes como vitaminas y minerales, disponibles para la alimentación directa e indirecta (Elizalde *et al.*, 2009). Sin embargo, algunas semillas, especialmente las leguminosas presentan en su composición factores antinutricionales (FANs). Además, las harinas y aceites de origen vegetal pueden contener varios de estos FANs entre los que destacan saponinas, taninos, ácido fítico, gossipol, lectinas, inhibidores de la proteasa, inhibidores de la amilasa y bociógenos que afectan la absorción y utilización de nutrientes en los organismos que los consumen. Otros factores, como los inhibidores de la tripsina y los fitatos, que están presentes principalmente en las legumbres y los cereales, reducen la digestibilidad de las proteínas y la absorción de minerales, causando malnutrición por micronutrientes y deficiencias en minerales (Samtiya *et al.*, 2020).

No obstante, hoy en día se ha puesto gran interés en el aceite extraído de la palma africana (*Elaeis guineensis*) por su fácil obtención, su precio en el mercado (\$1,300 dólares por tonelada en 2024) (Fletes-Ocón y Bonanno, 2015), además de su alta disposición. El aceite de palma africana (PO) y el aceite de palmiste (PKO) se caracterizan por su elevado contenido de AG de cadena media (MCFA) como son: Mirístico (C14:0) y Palmítico (C16:0), además de los de cadena larga como el Esteárico (C18:0), Oleico (C18:1), Linoleico (C18:2) (Blas, 2019). Teniendo como antecedentes el trabajo de Al-Owafeir y Belal (1996), cuyos resultados indican que el PO podría reemplazar al aceite de soya en los alimentos para alevines (*O. niloticus*) sin ningún efecto negativo sobre el crecimiento o la composición corporal de los peces en estas condiciones. Se podría afirmar que el uso de PO beneficiará la nutrición de organismos acuáticos como el camarón. Sin embargo, Arambul-Muñoz *et al.* (2024) mencionan que es necesario combinar varias fuentes de grasas para formular un

contenido equilibrado de AG, lo cual fue comprobado, evaluando una mezcla de diferentes fuentes de grasas (animal-vegetal) para determinar el reemplazo parcial de FO en las dietas de juveniles de *Litopenaeus vannamei*, cuya proporción de estas grasas fue de 25% (grasa de ave), 71% (PKO) y 4% (DHA-microalgas), basándose en el rendimiento zootécnico del camarón estudiado.

Actualmente los trabajos centrados en el uso de PKO en la alimentación de camarones son limitados, la evidencia de la efectividad de PO en otras especies acuícolas sugiere su potencial utilidad en la alimentación de camarones, especialmente cuando se busca una mezcla de grasas equilibrada para cumplir con los requerimientos nutricionales específicos. Ng (2005) ofrece una compilación de diferentes investigaciones que han indagado en el uso de PO con distintas especies de cultivo, incluyendo a algunas especies de peces como el bagre africano (*Heterobranchus longifilis*), la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y el gourami trepador (*Anabas testudineus*), los cuales tienen la capacidad de utilizar efectivamente altos niveles de aceite de palma en sus dietas como fuente de energía y de AG sin efectos adversos en el crecimiento y eficiencia de asimilación de alimentos.

Por lo tanto, la formulación de dietas para *Litopenaeus vannamei* debe considerar tanto sus necesidades nutricionales como los desafíos económicos y medioambientales del uso de harina y aceite de pescado. Alternativas como PBM y PKO, combinados con DHA de microalgas, ofrecen una solución viable para reducir la dependencia de recursos marinos, optimizando costos y mejorando la sostenibilidad. Aunque los resultados actuales son prometedores, se requiere más investigación para encontrar las mejores combinaciones de grasas y proteínas que optimicen el rendimiento productivo. Por lo cual, es de interés investigar la óptima mezcla de grasas (grasa de ave +PKO+DHA) que cumplan los requerimientos nutricionales necesarios para realizar una dieta de calidad para camarón blanco del Pacífico en la sustitución total o parcial de FM y FO.

### **3. HIPÓTESIS**

La sustitución parcial a total de aceite de pescado por una mezcla de grasas compuesta por tres fuentes primarias: grasas de ave (40%) y de palmiste (PKO 60%), enriquecido con un concentrado de algas rico en DHA, igualará o superará el rendimiento zootécnico y no habrá efectos adversos en la salud asociada al metabolismo lipídico del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

### **4. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar una mezcla de grasas compuesta de tres fuentes principales: grasas de ave (40%), palmiste (60%) y concentrado de algas rico en DHA, en sustitución parcial a total del aceite de pescado, utilizando harinas proteicas desgrasadas para probar su eficacia en el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*.

#### **4.1. Objetivos específicos**

- 4.1.1. Medir el desempeño zootécnico del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* alimentados con diferentes niveles de inclusión de una mezcla de grasas en la sustitución de aceite de pescado.
- 4.1.2. Determinar el efecto por la bioacumulación de ácidos grasos en hepatopáncreas y musculo, además de la incorporación y/o utilización de éstos.
- 4.1.3. Evaluar el efecto de las mezclas de grasas en los parámetros bioquímicos de la hemolinfa del camarón.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Diseño Experimental

La presente investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Nutrición y Fisiología Digestiva del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California (IIO-UABC). Se recibió un lote de 5,000 postlarvas de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) procedente del Laboratorio Acuapacific en Mazatlán, Sinaloa con una talla promedio de  $0.008 \pm 0.001$  mg (PI 12). Por un periodo de tres semanas los organismos se aclimataron y alimentaron con una dieta comercial, una vez que alcanzaron la talla necesaria para iniciar el experimento (0.03 g), se distribuyeron en cuatro tratamientos (Control, Bajo (TB), Medio (TM), Alto (TA)).

Las dietas fueron formuladas y elaboradas en las instalaciones del Laboratorio de Nutrición y Fisiología Digestiva (Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, Baja California, México, siguiendo los protocolos internos. A partir de subproductos avícolas (PBM y grasa de ave), PKO, DHA, FO y FM, se elaboraron cuatro dietas experimentales isoprotéicas (35%) e isolípídicas (8%): Control, TB, TM, TA con diferente inclusión de mezcla de grasas, en las cuales se sustituyó la concentración FO por mezcla de grasas (Cuadro 1).

### 5.2. Condiciones de cultivo

Los tratamientos (Control, TB, TM, TA) fueron distribuidos al azar y por triplicado, 20 org/tanque ( $0.47 \text{ m}^2$  superficie de fondo) en un sistema de recirculación acuícola (RAS) con un 5% de renovación diaria de agua, aireación constante mediante una bomba airlift y difusores de piedras de aire, uno para cada tanque. El sistema RAS equipado con un biofiltro (PolyGeyser®; Pneumatic Drop Bead Filter modelo PG7 International Filter Solutions, TX, EE.UU.), UV y un calentador.

La temperatura se mantuvo a  $28 \pm 1$  °C, la salinidad a 35 ppm y el oxígeno disuelto  $6 \pm 1 \text{ mgL}^{-1}$ . La calidad del agua se monitoreó semanalmente para medir los niveles de alcalinidad ( $\text{CaCO}_3$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y nitritos ( $\text{NO}^2$ ). Usando el reactivo Palintest™ Alkaphot AP188 para la medición de alcalinidad total con un fotómetro YSI © -9500, en las mediciones de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}^2$  se usó el método de la colorimetría

empleando en el kit de prueba API® Master para agua salada. Los camarones fueron alimentados cuatro veces al día (8:00, 11:00, 14:00 y 17:00 h) con una tasa de alimentación del 6% de su biomasa.

### **5.3. Formulación y preparación de alimento**

Todas las formulaciones fueron basadas previamente en el manual de requerimientos nutricionales de peces y camarones escrito por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, por sus siglas en inglés). El NRC genera informes específicos de cada especie que sirven como fuente autorizada de recomendaciones para satisfacer las necesidades de nutrientes de los animales agrícolas, los animales de compañía y las especies acuícolas por igual (Jobling, 2011).

El proceso de elaboración del alimento se realizó en seis etapas: pulverización, tamizado, mezclado, peletización, cortado y secado. Para la etapa de pulverización se usó de un molino (Inmimex© m-400) donde fueron molidos los macro-nutrientes como: soja, harina de ave lavada, harina de pescado, PROPLEX® T. Una vez terminado el proceso de molienda se tamizó (Intelec moeller ABB) a 500 µm. Posteriormente se mezcló, utilizando un cortador y mezclador vertical (Robot coupe © R60) donde se agregaron todos los micros y macro nutrientes, para obtener una mezcla homogénea con la textura deseada. En el peletizado se utilizó el extrusor en frío (Rosito Bisani© TR75), con el que se realizaron tiras de pasta mediante presión, las cuales fueron usadas para formar los pelets, posteriormente se cortaron en un procesador de alimentos (Robot coupe© R10) hasta obtener el tamaño deseado (1.2 mm). Por último, se secó en una estufa de aire forzado (VWR® 1600 HAFO series) durante 24 h a una temperatura constante de 60°C.

Cuadro 1. Ingredientes y composición proximal (g Kg<sup>-1</sup> en peso seco) de cuatro dietas isoprotéicas e isolipídicas formuladas para contener diferente nivel de mezcla de grasas (ave 40%; palmiste 60%) que sustituye al aceite de pescado.

| Ingredientes, g Kg <sup>-1</sup> , DM                       | Niveles de inclusión de grasas en la dieta |             |             |             |
|---|--|-------------|-------------|-------------|
|   | Control                                    | TB          | TM          | TA          |
| Harina de pescado (desengrasada) <sup>a</sup>               | 5.00                                       | 5.00        | 5.00        | 5.00        |
| Harina de subproductos avícolas (desengrasada) <sup>b</sup> | 18.00                                      | 18.00       | 18.00       | 18.00       |
| Proplex T <sup>c</sup>                                      | 5.00                                       | 5.00        | 5.00        | 5.00        |
| Soja 43% <sup>d</sup>                                       | 12.00                                      | 12.00       | 12.00       | 12.00       |
| Harina blanca de trigo <sup>e</sup>                         | 16.70                                      | 16.70       | 16.70       | 16.70       |
| Gelatina <sup>f</sup>                                       | 7.00                                       | 7.00        | 7.00        | 7.00        |
| Gluten de maíz <sup>g</sup>                                 | 5.00                                       | 5.00        | 5.00        | 5.00        |
| <b>Aceite de pescado <sup>h</sup></b>                       | <b>5.17</b>                                | <b>3.35</b> | <b>1.68</b> | <b>0.00</b> |
| <b>Mezcla de grasas <sup>i</sup></b>                        | <b>0.00</b>                                | <b>1.65</b> | <b>3.32</b> | <b>5.00</b> |
| Almidón de maíz <sup>j</sup>                                | 21.00                                      | 21.00       | 21.00       | 21.00       |
| Metionina <sup>k</sup>                                      | 1.00                                       | 1.00        | 1.00        | 1.00        |
| Mezcla de vitaminas y minerales <sup>l</sup>                | 2.50                                       | 2.50        | 2.50        | 2.50        |
| Vitamina C <sup>m</sup>                                     | 0.10                                       | 0.10        | 0.10        | 0.10        |
| <b>DHA (Nature™ 17%)<sup>n</sup></b>                        | <b>0.06</b>                                | <b>0.04</b> | <b>0.02</b> | <b>0.01</b> |
| Fosfolípidos <sup>o</sup>                                   | 1.29                                       | 1.29        | 1.29        | 1.29        |
| Colesterol <sup>p</sup>                                     | 0.30                                       | 0.30        | 0.30        | 0.30        |
| Benzoato de sodio <sup>q</sup>                              | 0.10                                       | 0.10        | 0.10        | 0.10        |
| BHT <sup>q</sup>  | 0.01                                       | 0.01        | 0.01        | 0.01        |
| <b>Composición proximal (% en materia seca)*</b>            |  |             |             |             |
| Humedad   | 4.13                                       | 3.98        | 4.33        | 5.26        |
| Proteína cruda  | 35.22                                      | 35.68       | 35.24       | 35.10       |
| Lípidos totales   | 6.96                                       | 6.49        | 6.56        | 6.81        |
| Cenizas   | 7.01                                       | 7.50        | 7.11        | 7.51        |
| NFE   | 46.68                                      | 46.35       | 46.76       | 45.32       |
| EPA   | 0.05                                       | 0.04        | 0.02        | 0           |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). NFE (g kg<sup>-1</sup>) = 100% - (proteína cruda + lípidos totales + humedad + cenizas).

a. Procesadora Mar de Ensenada S. de R.L. de C.V.

b. Scoular de México S. de R.L. de C.V.

c. PROPLEX T | ADM Animal Nutrition.

d. Soycomil | ADM Animal Nutrition.

e. Progel Mexicana SA de CV, León, Guanajuato, México.

f. Ingredión México S.A. de C.V., México.

g. Proteínas Marinas y Agropecuarias S.A de C.V.

h. Grasa de ave (Proan Alimentos, S. de R.L. de C.V.) + DHA (Purac México, S. de R.L. de C.V. + grasa de palmiste (Comercializadora Abanor, S.A. de C.V).

i. Maizena™, Unilever Food Solutions, México.

j. Alimentos del Futuro, Tlanepantla, Estado de México, México.

k. Rovimix, DSM, Productos Nutricionales México SA de CV, Guadalajara, Jalisco, México, contiene en g kg de ácido p-aminobenzoico 1.45; biotina 0,02; mioinositol 14,5; ácido nicotínico 2,9; Capantotenato 1.0; piridoxina-HCl 0,17; riboflavina 0,73; tiamina-HCl 0,22; menadiona 0,17; α-tocoferol 1,45; cianocobalamina 0,0003; calciferol 0,03; L-ascorbilo-2-fosfato-Mg 0,25; ácido fólico 0,05; cloruro de colina 29,65; retinol 0,015; NaCl 1.838; MgSO4·7H2O 6,85; NaH2PO4·2H2O 4,36; KH2PO4 11,99; Ca(H2PO4)2·2H2O 6,79; Fe-citrato 1,48; Ca-lactato 16,35; AlCl3·6H2O 0,009; ZnSO4·7H2O 0,17; CuCl2 0,0005; MnSO4·4H2O 0,04; 0,008 KI; CoCl2 0,05.

l. Stay C de DSM, Productos Nutricionales México SA de CV, Guadalajara, Jalisco, México.

m. Comercializador Costa bella S. de R.L. de C.V., Ensenada BC, México.

n. ADM

o. Mitsui y Co, México.

p. Sigma Aldrich.

q. Interquímica SA de CV, Atizapán de Zaragoza, México, México.

\* Analizado según AOAC (2015).

Cuadro 2. Composición de ácidos grasos (cálculo teórico, %) de las dietas usadas para alimentar juveniles de *Litopenaeus vannamei*. Las dietas formuladas con cuatro diferentes mezclas de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%); 0, 1.65, 3.32, y 5% en reemplazo de aceite de pescado durante 10 semanas.

| Ácido graso          | Tratamientos |             |             |             |
|----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | Control      | TB          | TM          | TA          |
| 8:0                  | 0            | 0.5         | 1.1         | 1.6         |
| 10:0                 | 0            | 0.6         | 1.1         | 1.6         |
| 12:0                 | 0            | 8           | 14.7        | 22.3        |
| 14:0                 | 10.3         | 9.8         | 9.2         | 8.6         |
| 16:0                 | 27.8         | 24.2        | 19.3        | 15.5        |
| 18:0                 | 3.8          | 3.9         | 3.9         | 3.9         |
| <b>Σ SFA</b>         | <b>41.9</b>  | <b>47</b>   | <b>49.3</b> | <b>53.5</b> |
| 14:1                 | 0            | 0.1         | 0.1         | 0.2         |
| 16:1                 | 0            | 1.3         | 2.7         | 3.4         |
| 18:1                 | 3.3          | 4.9         | 6.4         | 8           |
| 18:1n9               | 12.1         | 15.1        | 17.6        | 19.4        |
| 20:1                 | 1            | 0.8         | 0.5         | 0.3         |
| <b>Σ MUFA</b>        | <b>16.4</b>  | <b>22.2</b> | <b>27.3</b> | <b>31.3</b> |
| 18:2n6               | 13.6         | 8.6         | 5.6         | 1.4         |
| 18:3n6               | 0.3          | 0.2         | 0.1         | 0           |
| 20:4n6               | 0.8          | 0.5         | 0.3         | 0           |
| <b>Σ PUFA-n6</b>     | <b>14.7</b>  | <b>9.3</b>  | <b>6</b>    | <b>1.4</b>  |
| 18:3n3               | 1            | 0.7         | 0.3         | 0           |
| 20:5n3               | 14.2         | 8.3         | 3.8         | 0           |
| 22:5n3               | 1.5          | 1.1         | 0.5         | 0           |
| 22:6n3               | 10.3         | 8.2         | 6.5         | 4           |
| <b>Σ PUFA-n3</b>     | <b>27</b>    | <b>18.3</b> | <b>11.1</b> | <b>4</b>    |
| 18:2                 | 0            | 3.1         | 6.1         | 9.4         |
| 18:3                 | 0            | 0.1         | 0.2         | 0.4         |
| <b>Σ OTROS PUFAs</b> | <b>0</b>     | <b>3.2</b>  | <b>6.3</b>  | <b>9.8</b>  |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). ΣSFA, ΣMUFA, ΣPUFA-n6, ΣPUFA-n3, Σ OTROS PUFAs son la suma de saturados, monoinsaturados, poliinsaturados n3 y poliinsaturados n6 y otros poliinsaturados respectivamente.

## 5.4. Crecimiento y desempeño

Las dietas experimentales y el Control fueron probados durante 10 semanas con una ración diaria del 6% de la biomasa total por tanque. Después de 10 semanas de las pruebas de alimentación, los organismos fueron pesados de manera individual para evaluar los resultados según los siguientes parámetros:

### Ganancia de peso (%):

$$GP = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) \times 100$$

### Tasa específica de crecimiento (%d):

$$(TEC, \%d) = 100 \times ((\text{Ln peso final} - \text{Ln peso inicial}) \times \text{número de días})$$

### Consumo de alimento (Alim) (%día<sup>-1</sup>):

$$(\text{Alim}, \%dia^{-1}) = 100 \times \left( \frac{\frac{\text{Cantidad total de alimento consumido}}{\left( \frac{(\text{Peso corporal inicial} + \text{Peso corporal final})}{2} \right)}}{\text{número de días}} \right)$$

### Factor de conversión alimenticia (FCA):

$$FCA = \frac{\text{Alimento total consumido}}{\text{Peso húmedo acumulado}}$$

### Factor de condición (FC):

$$FC = \left( \frac{\text{Peso corporal final}}{\text{Largo corporal}^3} \right) \times 100$$

### Índice hepatosomático (IHS):

$$(IHS, \%) = \left( \frac{\text{Peso del Hepatopáncreas}}{\text{Peso corporal}} \right) \times 100$$

### Tasa de supervivencia (Sv %):

$$(Sv, \%) = \left( \frac{Nt \times 100}{No} \right)$$

Donde  $Nt$  y  $No$  corresponden al número total y número inicial de camarones respectivamente.

## 5.5. Análisis químicos

Las dietas fueron analizadas por triplicado para determinar su composición proximal (proteína, lípidos, humedad y cenizas) con la metodología descrita en AOAC (2015). La proteína cruda fue determinada mediante el método de micro-Kjeldahl, en donde la muestra pasa por un proceso de digestión a alta temperatura con ácido sulfúrico, en presencia de un catalizador y antiespumante, después de seis horas de digestión se diluye la muestra en un crisol de 25 mL con agua destilada, posteriormente se destila atrapando el nitrógeno en ácido bórico. Concluido el proceso de destilación las muestras fueron tituladas usando el colorante Shiro Toshiro (azul de metileno con rojo de metilo) y ácido clorhídrico, para llegar a un pH7. Teniendo la cantidad de ácido gastado se calcularon los moles de nitrógeno obtenidos, que fueron multiplicados por un factor de 6.25 para obtener el valor de proteína cruda (AOAC, 1990).

Para cuantificar lípidos en muestras de la dieta, se utilizó el método Soxhlet según la AOAC (2015). Con la muestra previamente seca, se utilizó éter de petróleo como portador del disolvente y una vez cumplido las 6 h requeridas para el proceso de extracción, se realizó un último paso de evaporación para eliminar por completo el disolvente del aceite. El método registró el peso de la muestra en dos momentos clave: al inicio, cuando el alimento aún contiene los lípidos y al final, cuando ha perdido parte de su composición. Así, por diferencia de peso, se estimó el porcentaje lipídico de la dieta (Jensen, 2007).

La humedad y las cenizas fueron determinadas mediante métodos gravimétricos, la humedad se obtuvo pesando las muestras para someterlas a un proceso de secado a 60°C en un horno (Lab-Line® imperial III model 310) durante 24 h, el porcentaje de cenizas fue determinado pesando las muestras previamente, posteriormente se secaron en una mufla (Barnstead international® model 62700) a 550°C durante 6 h. Por último se pesaron nuevamente las muestras.

Se analizó la composición de AG de las dietas, hepatopáncreas y del músculo. Por problemas de operatividad con el equipo, no se pudo realizar la caracterización y cuantificación de los AG de las dietas por lo que se tuvo que realizar un cálculo teórico. Para el hepatopáncreas y músculo se metilaron directamente utilizando la metodología de transmetilación descrita por Parrish *et al.* (2014), utilizando

diclorometano y metanol como disolvente. Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) se separaron en un cromatógrafo de gases Agilent 6880 (Agilent Technologies®, Santa Clara, CA, EE. UU.) equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar DB-23 (60 m × 0.25 mm × 0.25 μm; Agilent 122-2362). El gas portador utilizado fue nitrógeno con un flujo constante de 1.0 mL/min. El inyector operó en modo split (1:20) a 230 °C, con un volumen de inyección de 2 μL. El programa de temperatura del horno comenzó en 50 °C (1 min), seguido de una rampa de 30 °C/min hasta 140 °C (mantenido por 5 min), luego una rampa de 4 °C/min hasta 240 °C, con un tiempo final de 20 min. El detector FID se mantuvo a 260 °C, con flujos de aire (400 mL/min), hidrógeno (40 mL/min) y gas make-up (nitrógeno, 30 mL/min). El tiempo total de corrida fue de 42.5 min. Los FAME se identificaron y cuantificaron comparando sus tiempos de retención con una mezcla estándar (FAMEs de 37 componentes, PUFA 1 y PUFA 3, Supelco/Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), utilizando C:19 como estándar interno para el cálculo de concentraciones.

La digestibilidad aparente de la materia seca se determinó utilizando la ceniza insoluble en ácido como marcador interno. Se determinó el contenido de cenizas insolubles (%) en ácido clorhídrico (HCl) de las dietas experimentales y de las heces recolectadas durante el bioensayo utilizando la metodología descrita por Tejada *et al.* (1992), modificado por Montaña-Vargas *et al.* (2002).

$$\% IA = \frac{(AW) - (CW)}{DMW} \times 100$$

$$\% DAMS = 100 - \left( \frac{100 \times \% \text{ cenizas en el alimento}}{\% \text{ cenizas en las heces}} \right)$$

Donde:

*IA: Ceniza insoluble en ácido*

*AW: Peso de ceniza (g)*

*CW: Peso del crisol (g)*

*DMW: Peso de materia seca*

*DAMS: Digestibilidad aparente en materia seca*

## 5.6. Química sanguínea

Se analizaron los efectos de las dietas sobre aspectos fisiológicos como la bioquímica de la hemolinfa (proteína total, colesterol, triglicéridos y glucosa) con el método descrito por Del Río-Zaragoza *et al.* (2021) y Pintor *et al.* (2022).

Para la química de la hemolinfa, la proteína total (TP) se analizó utilizando el reactivo Biuret (Sigma-Aldrich ©) y midiendo la absorbancia a 540 nm. La curva estándar se obtuvo utilizando albúmina sérica bovina (BSA), y la proteína se reportó como proteína equivalente a BSA. La glucosa (GLU) se determinó cuantitativamente con un kit (Valtek Diagnostics®, Santiago de Chile) en el que la glucosa se oxida a ácido glucónico y peróxido de hidrógeno por glucosa oxidasa. A continuación, el peróxido de hidrógeno reacciona con el ácido p-hidroxibenzoico y la 4-aminoantipirina de la peroxidasa. El producto coloreado se mide espectrofotométricamente a 505 nm. Además, los triglicéridos (TG) se estimaron después de la hidrólisis con una lipasa específica que produce AG y glicerol. En resumen, la reacción consistió en la enzima glicerol quinasa cuya función principal es fosforilar el glicerol, convirtiéndolo en glicerol-3-fosfato. Luego, el glicerol-1-fosfato es oxidado por la glicerol-fosfato oxidasa para generar peróxido de hidrógeno, que luego se determina por el ácido bencenosulfónico 4-aminoantipirina y 3,5-dicloro-2-hidroxi-ácido en presencia de peroxidasa, reacción medida a 520 nm (Valtek diagnostics ®, Santiago de Chile). Finalmente, el colesterol (CHO) se determinó por un método enzimático en el que la colesterol esterasa hidroliza el colesterol, que posteriormente es oxidado por la colesterol oxidasa, produciendo peróxido de hidrógeno que es cuantificado por el sistema cromogénico que contiene ácido p-hidroxibenzoico y 4-amino antipirina en presencia de peroxidasa y se cuantifica midiendo la absorbancia a 505 nm (Valtek diagnostics ®, Santiago de Chile). Las lecturas de absorbancia se realizaron en un lector de microplacas (Multiskan GO, Thermo Scientific©).

## **5.7. Análisis estadístico**

La normalidad y la homocedasticidad de los datos se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene, respectivamente. Las variables de desempeño zootécnico se analizaron mediante un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y una prueba de Tukey y Kruskal-Wallis (según el caso) cuando se detectó una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos. Las diferencias se consideraron significativas al 95%. Posteriormente se realizó una regresión polinómica (cuadrática) entre tratamientos y se aplicó el valor de significancia de  $P < 0.05$  para todas las pruebas estadísticas (IBM SPSS Statistics V26.0.0 © IBM Corporation 1989, 2011, EE. UU.).

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Desempeño zootécnico.**

Después de 70 días de iniciado el experimento donde se hizo un cambio de dieta con diferente inclusión de grasas (Control, TB, TM, TA), no se obtuvieron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en el peso final y ganancia de peso (%), no obstante se puede observar (Cuadro 3) una mayor ganancia de peso en el tratamiento TA con respecto a los demás tratamientos. En la tasa de crecimiento, o cualquier otro índice como FCA y TTC, presentan un valor de  $P > 0.05$ , lo cual indica que no tienen diferencias significativas, a pesar de eso, se encontró que en el FCA disminuye en el tratamiento TA.

Por otra parte, se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el consumo de alimento diario (Alim), al igual en el IHS, destacando un incremento en el tratamiento TA (5.52%) en contraste con el tratamiento Control (3.72%).

Cuadro 3. Rendimiento general de juveniles de *Litopenaeus vannamei*, alimentados con dietas que contenían cuatro distintos niveles de inclusión de una mezcla de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%); 0, 1.65, 3.32, y 5% en reemplazo de aceite de pescado durante 10 semanas.

| Variable | Tratamientos             |                           |                           |                          | Valor P |
|----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------|
|          | Control                  | TB                        | TM                        | TA                       |         |
| PI (g)   | 0.03 ± 0.01              | 0.03 ± 0.01               | 0.03 ± 0.01               | 0.03 ± 0.01              | -       |
| PF (g)   | 2.70 ± 0.23              | 2.55 ± 0.35               | 2.60 ± 0.08               | 3.01 ± 0.73              | 0.574   |
| GP (g)   | 2.67 ± 0.23              | 2.51 ± 0.35               | 2.57 ± 0.08               | 2.98 ± 0.73              | 0.570   |
| GP (%)   | 8707.2 ± 615.9           | 8204.9 ± 1207.2           | 8561.2 ± 88.9             | 9564.7 ± 2045.3          | 0.515   |
| TEC (%)  | 6.40 ± 0.10              | 6.30 ± 0.22               | 6.37 ± 0.01               | 6.51 ± 0.30              | 0.627   |
| FCA      | 2.50 ± 0.25              | 2.32 ± 0.30               | 2.49 ± 0.06               | 2.18 ± 0.53              | 0.611   |
| Alim     | 190.1 ± 1.6 <sup>a</sup> | 164.5 ± 4.6 <sup>c</sup>  | 182.4 ± 1.7 <sup>ab</sup> | 178.4 ± 3.8 <sup>b</sup> | 0.001   |
| IHS (%)  | 3.72 ± 0.57 <sup>b</sup> | 4.44 ± 0.14 <sup>ab</sup> | 4.67 ± 0.98 <sup>a</sup>  | 5.52 ± 0.53 <sup>a</sup> | 0.048   |
| TTC      | 0.56 ± 0.02              | 0.55 ± 0.03               | 0.55 ± 0.01               | 0.58 ± 0.06              | 0.599   |
| Sv (%)   | 90.0 ± 13.2              | 80.0 ± 8.6                | 88.3 ± 5.7                | 80.0 ± 13.23             | 0.764   |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). Los valores representan media ± desviación estándar. Los valores con superíndices diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), prueba de Tukey y Kruskal-Wallis (según corresponda). PI= Peso inicial, PF= Peso final, GP= Ganancia de peso, TEC = Tasa específica de crecimiento, FCA = Factor de conversión alimenticia, Alim= Alimentación (% B\* $\text{dia}^{-1}$ ), IHS = Índice hepatosomático, TTC = Tasa térmica de crecimiento, Sv= Sobrevivencia. Diferentes letras en superíndice (a, b), significan diferencias estadísticas entre dietas experimentales, según la prueba Pos Hoc aplicadas.

## 6.2. Perfil de ácidos grasos en hepatopáncreas y músculo.

En el Cuadro 4, se observan 13 AG identificados en el hepatopáncreas, donde existe una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en los siguientes AG: mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1). La concentración de AG -SFA, presenta un decremento gradual en la concentración conforme aumenta el nivel de inclusión de grasas en la dieta, siendo el tratamiento TA el que contiene la menor concentración de SFA (32.32%). No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en los AG -MUFA, a excepción del ácido oleico (18:1n9), el cual tiene una mayor concentración en el tratamiento TM (34.12%) y la menor en el TB (31.23%). Los AG-PUFAS solo presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el docosadienoico (C22:2), teniendo la mayor acumulación en el tratamiento TB (2.15%) y la menor en TA (1.84%). Por otra parte los AG de la serie n-3, específicamente el ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5n3) tiende a disminuir con el nivel de inclusión de grasas, siendo el tratamiento Control el que presenta la mayor concentración, seguido de TB y TA.

Cuadro 4. Composición de ácidos grasos (%) en el hepatopáncreas de juveniles de *Litopenaeus vannamei* alimentados con dietas que contienen cuatro diferentes mezclas de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%); 0, 1.65, 3.32, y 5% en reemplazo de aceite de pescado durante 10 semanas.

| Ácido graso      | Tratamientos              |                            |                           |                           | Valor P |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
|                  | Control                   | TB                         | TM                        | TA                        |         |
| 14:0             | 3.93 ± 0.66 <sup>a</sup>  | 3.55 ± 0.55 <sup>a</sup>   | 2.78 ± 0.12 <sup>a</sup>  | 2.71 ± 0.15 <sup>b</sup>  | 0.024   |
| 16:0             | 23.41 ± 0.35 <sup>b</sup> | 24.61 ± 0.67 <sup>a</sup>  | 25.14 ± 0.87 <sup>a</sup> | 25.47 ± 0.29 <sup>a</sup> | 0.013   |
| 18:0             | 5.91 ± 0.65 <sup>a</sup>  | 5.46 ± 0.60 <sup>a</sup>   | 4.85 ± 0.17 <sup>ab</sup> | 4.14 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 0.007   |
| <b>Σ SFA</b>     | <b>33.25</b>              | <b>33.62</b>               | <b>32.77</b>              | <b>32.32</b>              | -       |
| 16:1             | 2.67 ± 0.19               | 2.42 ± 0.06                | 2.41 ± 0.16               | 2.56 ± 0.15               | 0.184   |
| 18:1n9           | 31.49 ± 1.37 <sup>b</sup> | 31.23 ± 1.51 <sup>ab</sup> | 34.12 ± 0.46 <sup>a</sup> | 33.11 ± 0.71 <sup>a</sup> | 0.037   |
| 20:1n9           | 1.51 ± 0.28               | 1.31 ± 0.06                | 1.35 ± 0.14               | 1.51 ± 0.17               | 0.419   |
| <b>Σ MUFA</b>    | <b>35.67</b>              | <b>34.96</b>               | <b>37.88</b>              | <b>37.18</b>              | -       |
| 18:2n6           | 14.23 ± 0.69              | 14.18 ± 0.21               | 13.96 ± 0.48              | 14.39 ± 1.01              | 0.885   |
| 20:4n6           | 0.14 ± 0.01               | 0.18 ± 0.11                | 0.21 ± 0.18               | 0.10 ± 0.01               | 0.200   |
| <b>Σ PUFA-n6</b> | <b>14.37</b>              | <b>14.36</b>               | <b>14.17</b>              | <b>14.49</b>              | -       |
| 18:3n3           | 0.81 ± 0.03               | 0.79 ± 0.01                | 0.75 ± 0.03               | 0.73 ± 0.09               | 0.280   |
| 20:3n3           | 1.37 ± 0.04               | 1.40 ± 0.36                | 1.19 ± 0.37               | 1.16 ± 0.09               | 0.318   |
| 20:5n3           | 2.02 ± 0.19               | 2.08 ± 0.50                | 1.68 ± 0.37               | 1.69 ± 0.17               | 0.365   |
| 22:6n3           | 9.36 ± 0.33               | 9.60 ± 0.19                | 8.68 ± 0.84               | 9.52 ± 0.27               | 0.160   |
| <b>Σ PUFA-n3</b> | <b>13.56</b>              | <b>13.88</b>               | <b>12.3</b>               | <b>13.1</b>               | -       |
| 22:2             | 2.10 ± 0.02 <sup>ab</sup> | 2.15 ± 0.01 <sup>a</sup>   | 1.86 ± 0.08 <sup>b</sup>  | 1.84 ± 0.04 <sup>b</sup>  | 0.024   |
| <b>Σ PUFAs</b>   | <b>29.67</b>              | <b>30.38</b>               | <b>28.33</b>              | <b>29.43</b>              | -       |
| <b>Otros</b>     | <b>1.41</b>               | <b>1.04</b>                | <b>1.02</b>               | <b>1.07</b>               | -       |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). Los valores representan media ± desviación estándar. ΣSFA, ΣMUFA, ΣPUFA n6, ΣPUFA n3, ΣPUFAs son la suma de saturados, monoinsaturados, poliinsaturados, poliinsaturados n3 y poliinsaturados n6 respectivamente. Diferentes letras (a, b), significan diferencias estadísticas entre dietas experimentales, según la prueba de Tukey (P < 0.05).

En el Cuadro 5, se observa el perfil de 13 AG encontrados en el músculo de *Litopenaeus vannamei*, los AG-SFA no tienen diferencia significativa (P>0.05), solo el ácido mirístico (C14:0) mostró diferencias estadísticamente significativas (P<0.05), presentando una disminución de la acumulación en TM y TA en comparación con el Control y TB.

Los AG MUFA mostraron un aumento progresivo desde el Control (18.86%) hasta TA (22.14%). El ácido oleico (C18:1n9) presentó diferencias significativas entre las dietas (P<0.05), con valores mayores en TA (18.97%) comparado con el Control (14.27%) y TB (15.24%). El porcentaje de AG PUFA-n6 aumentó con la inclusión de grasa en la dieta, alcanzando la concentración más alta en TA (12.11%). En cambio los niveles de AG PUFA-n3 se mantuvieron relativamente similares entre las dietas,

siendo ligeramente superior en TM (32.37%) y menor en TA (28.33%). Sin embargo, no se observan diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en los AG individuales de los PUFAS.

Cuadro 5. Composición de ácidos grasos (%) en el músculo de juveniles de *Litopenaeus vannamei* alimentados con dietas que contienen cuatro diferentes mezclas de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%); 0, 1.65, 3.32, y 5% en reemplazo de aceite de pescado durante 10 semanas.

| Ácido Graso     | Tratamientos              |                           |                            |                           | Valor P |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------|
|                 | Control                   | TB                        | TM                         | TA                        |         |
| 8:0             | 4.19 ± 5.86               | 4.39 ± 6.14               | 0.99 ± 0.24                | 1.25 ± 0.60               | 0.972   |
| 10:0            | 3.23 ± 3.85               | 3.32 ± 3.75               | 1.04 ± 0.45                | 1.65 ± 1.47               | 0.789   |
| 12:0            | 1.28 ± 1.86               | 1.33 ± 1.78               | 0.20 ± 0.09                | 0.14 ± 0.05               | 0.135   |
| 14:0            | 2.69 ± 2.55 <sup>a</sup>  | 2.42 ± 1.55 <sup>a</sup>  | 0.80 ± 0.13 <sup>b</sup>   | 0.94 ± 0.23 <sup>b</sup>  | 0.038   |
| 16:0            | 16.87 ± 0.88              | 17.47 ± 0.41              | 17.38 ± 1.17               | 18.75 ± 0.43              | 0.09    |
| 18:0            | 9.72 ± 1.82               | 10.32 ± 1.41              | 10.29 ± 0.28               | 11.05 ± 0.52              | 0.27    |
| 20:0            | 1.63 ± 0.42               | 1.27 ± 0.40               | 1.87 ± 0.17                | 1.54 ± 0.04               | 0.19    |
| <b>ΣSFA</b>     | <b>39.61</b>              | <b>40.53</b>              | <b>32.37</b>               | <b>35.32</b>              | -       |
| 16:1            | 2.81 ± 2.09               | 1.98 ± 0.76               | 1.61 ± 0.44                | 1.49 ± 0.13               | 0.546   |
| 18:1n9          | 14.26 ± 3.79 <sup>b</sup> | 15.24 ± 1.83 <sup>b</sup> | 17.95 ± 0.70 <sup>ab</sup> | 18.97 ± 0.72 <sup>a</sup> | 0.030   |
| 20:1n9          | 1.79 ± 0.73               | 1.43 ± 0.51               | 1.86 ± 0.52                | 1.68 ± 0.36               | 0.779   |
| <b>ΣMUFA</b>    | <b>18.86</b>              | <b>18.65</b>              | <b>21.42</b>               | <b>22.14</b>              | -       |
| 18:2n6          | 9.98 ± 2.93               | 10.20 ± 2.42              | 11.32 ± 0.30               | 12.11 ± 0.38              | 0.282   |
| <b>ΣPUFA-n6</b> | <b>9.98</b>               | <b>10.2</b>               | <b>11.32</b>               | <b>12.11</b>              | -       |
| 18:3n3          | 1.55 ± 0.42               | 1.21 ± 0.45               | 1.67 ± 0.35                | 1.32 ± 0.34               | 0.503   |
| 20:3n3          | 4.99 ± 1.10               | 4.97 ± 1.52               | 5.63 ± 0.58                | 4.87 ± 0.38               | 0.785   |
| 20:5n3          | 7.84 ± 1.70               | 8.26 ± 2.78               | 8.49 ± 1.09                | 6.79 ± 1.82               | 0.725   |
| 22:6n3          | 15.02 ± 3.82              | 14.40 ± 2.66              | 16.58 ± 1.20               | 15.35 ± 0.79              | 0.516   |
| <b>ΣPUFA-n3</b> | <b>29.4</b>               | <b>28.84</b>              | <b>32.37</b>               | <b>28.33</b>              | -       |
| <b>ΣPUFAs</b>   | <b>39.38</b>              | <b>39.04</b>              | <b>43.69</b>               | <b>40.44</b>              | -       |
| <b>Otros</b>    | 2.15                      | 1.78                      | 2.52                       | 2.1                       | -       |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). Los valores representan media ± desviación estándar. ΣSFA, ΣMUFA, ΣPUFA-n6, ΣPUFA-n3, ΣPUFAs son la suma de saturados, monoinsaturados, poliinsaturados, poliinsaturados n3 y poliinsaturados n6 respectivamente. Diferentes letras (a, b), significan diferencias estadísticas entre dietas experimentales, según la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 6.3. Digestibilidad aparente

Los resultados obtenidos en la digestibilidad aparente para los diferentes tratamientos con inclusión de grasas (TB, TM y TA) no presentan diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) con respecto al tratamiento Control, teniendo el valor máximo en el tratamiento TM (77.4%) y el mínimo en TA (75.8%; Cuadro 6).

Cuadro 6. Digestibilidad aparente de juveniles de *Litopenaeus vannamei* alimentados con dietas que contienen cuatro diferentes mezclas de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%); 0, 1.65, 3.32, y 5% en reemplazo de aceite de pescado durante 10 semanas.

| Tratamientos | Digestibilidad aparente (%) |
|--------------|-----------------------------|
| Control      | 76.8 ± 1.95                 |
| TB           | 76.4 ± 0.58                 |
| TM           | 77.4 ± 0.65                 |
| TA           | 75.8 ± 1.15                 |
| P valor      | 0.356                       |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). Los valores representan media ± desviación estándar ( $P < 0.05$ , prueba de Tukey).

### 6.4. Química sanguínea

En los parámetros de química sanguínea, no se produjeron cambios significativos (Cuadro 7) en la hemolinfa de los organismos estudiados (proteína total, glucosa, colesterol y triglicéridos). Los valores en TP variaron entre tratamientos, con el valor más bajo en TB ( $5.06 \pm 2.40 \text{ g dL}^{-1}$ ) y el más alto en TM ( $6.79 \pm 2.89 \text{ g dL}^{-1}$ ). Los niveles de GLU oscilaron entre  $5.55 \pm 1.66 \text{ g dL}^{-1}$  (TB) y  $8.83 \pm 4.57 \text{ g dL}^{-1}$  (TM). En CHO se mantuvieron similares entre los tratamientos, con un rango de  $13.16 \pm 0.95 \text{ mg dL}^{-1}$  (Control) a  $14.58 \pm 6.41 \text{ mg dL}^{-1}$  (TM). Por último el tratamiento con menor inclusión de grasa fue TB, el cual presentó el menor nivel TG ( $4.33 \pm 1.80 \text{ mg dL}^{-1}$ ), mientras que el nivel máximo fue observado en TM ( $6.68 \pm 2.18 \text{ mg dL}^{-1}$ ), de igual manera no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 7. Análisis de la química sanguínea del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, alimentados con dietas que contienen cuatro diferentes mezclas de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%); 0, 1.65, 3.32, y 5% en reemplazo de aceite de pescado durante 10 semanas. Tres muestras por unidad experimental.

| Parámetro                  | Tratamientos |              |              |              | Valor P |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
|                            | Control      | TB           | TM           | TA           |         |
| TP (g dL <sup>-1</sup> )   | 5.70 ± 0.99  | 5.06 ± 2.40  | 6.79 ± 2.89  | 6.59 ± 2.45  | 0.668   |
| GLU (g dL <sup>-1</sup> )  | 7.46 ± 3.92  | 5.55 ± 1.66  | 8.83 ± 4.57  | 7.25 ± 2.88  | 0.719   |
| CHO (mg dL <sup>-1</sup> ) | 13.16 ± 0.95 | 13.33 ± 5.05 | 14.58 ± 6.41 | 14.52 ± 4.60 | 0.971   |
| TG (mg dL <sup>-1</sup> )  | 5.45 ± 0.47  | 4.33 ± 1.80  | 6.68 ± 2.18  | 5.43 ± 1.03  | 0.374   |

TB (inclusión baja), TM (inclusión media), TA (inclusión alta). Los valores representan media ± desviación estándar (P < 0.05, prueba de Tukey). TP = Proteína Total, GLU = Glucosa, CHO = Colesterol, TG=Triglicéridos.

## 6.5. Regresiones polinómicas

Al analizar las líneas de tendencias de cada una de las regresiones (Figura 2), se observó una correlación en el comportamiento de estas mismas (ganancia de peso (g), ganancia de peso (%), TEC y TTC), donde los tratamientos TB (valor mínimo) y TM tienden a una disminución con respecto al tratamiento Control, pero tiende a aumentar en TA (valor máximo). En regresiones como IHS (Figura 2) y CHO (Figura 3) indican un comportamiento de aumento gradual con respecto al porcentaje de inclusión de grasa, teniendo como valor mínimo el tratamiento Control y el máximo en TA.

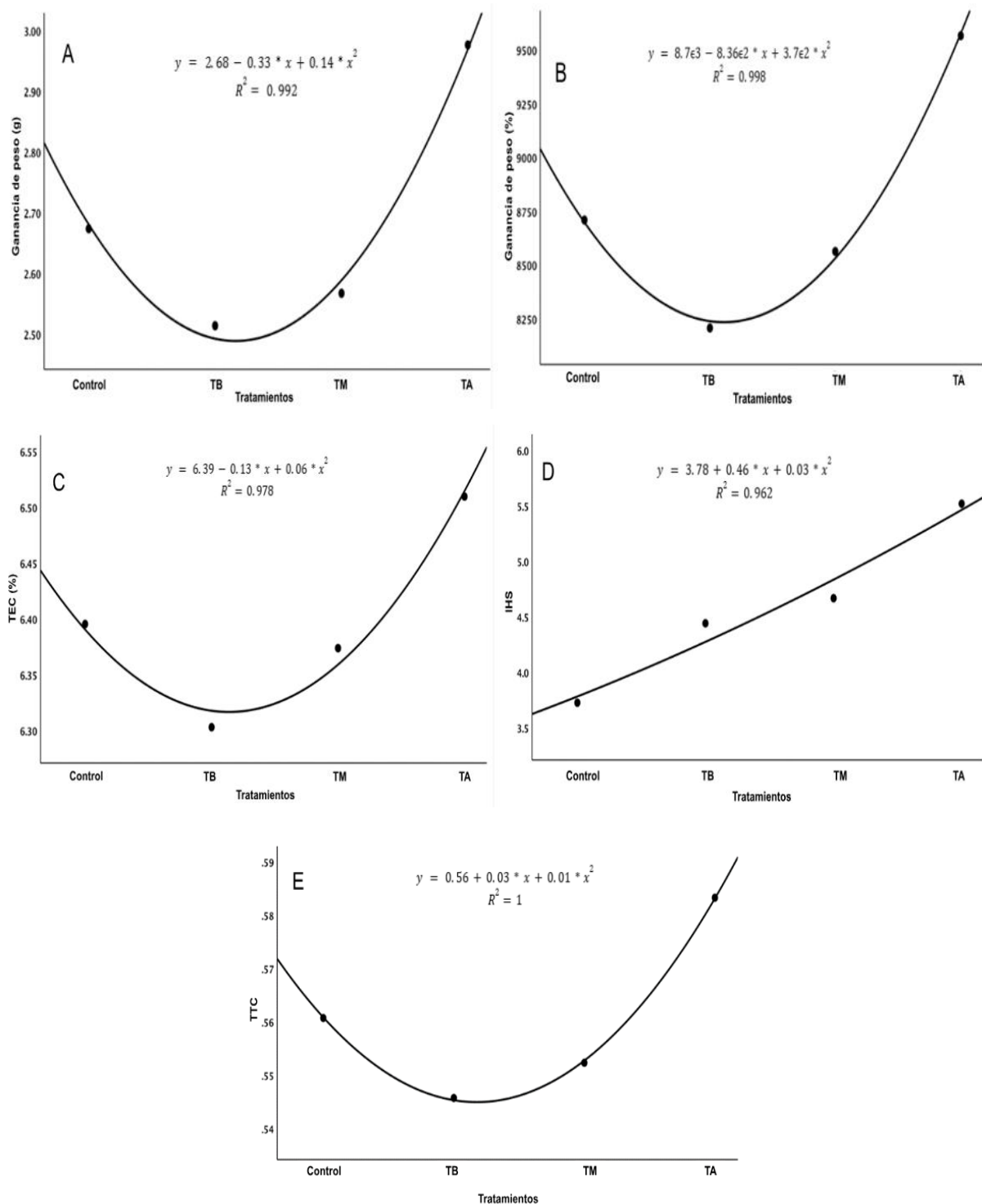


Figura 2. Análisis de regresión polinómica (cuadrática), sobre el rendimiento general de juveniles de *Litopenaeus vannamei* [ ganancia de peso (g), ganancia de peso (%), tasa específica de crecimiento (TEC), índice hepatosomático (IHS) y tasa térmica de crecimiento (TTC) ], alimentados con dietas que contenían cuatro distintos niveles de inclusión de una mezcla de grasas (ave 46%; palmiste 50%; concentrado de DHA 4%). Las líneas indican las ecuaciones de regresión polinómica de mejor ajuste y los valores  $R^2$  indican la potencia del modelo. Tratamientos: Control (0%), TB (1.65%), TM (3.32%) y TA (5%) en reemplazo de aceite de pescado. A (ganancia de peso, g), B: ganancia de peso (%), C: tasa específica de crecimiento, D: índice hepatosomático, E: tasa térmica de crecimiento.

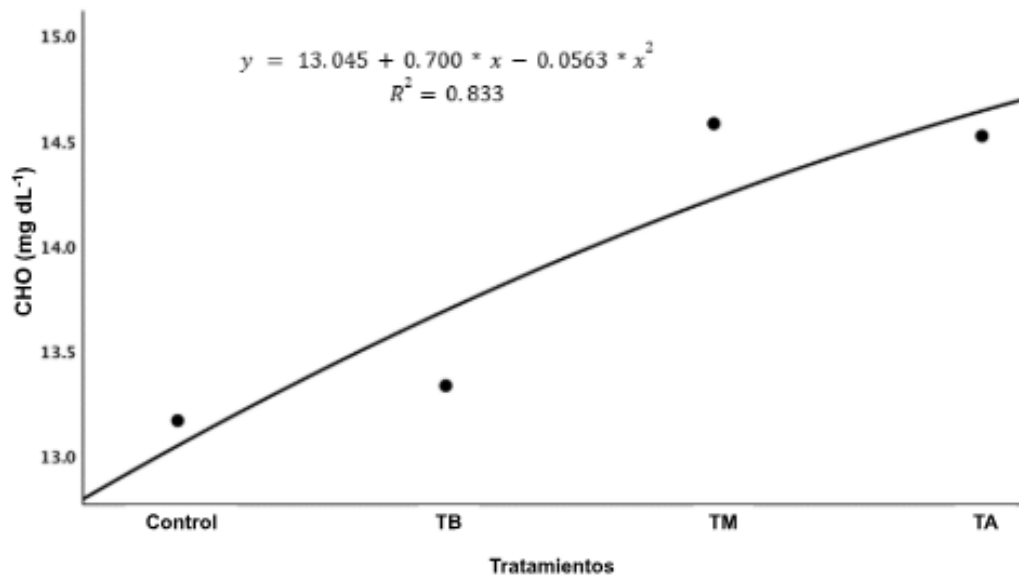


Figura 3. Análisis de regresión polinómica (cuadrática), sobre la química sanguínea de juveniles de *Litopenaeus vannamei* (Colesterol (CHO)), alimentados con dietas que contenían cuatro distintos niveles de inclusión de una mezcla de grasas (ave 46%; palmiste 50%; concentrado de DHA 4%). Las líneas indican las ecuaciones de regresión polinómica de mejor ajuste y los valores R2 indican la potencia del modelo. Tratamientos: Control (0%), TB (1.65%), TM (3.32%) y TA (5%) en reemplazo de aceite de pescado.

## 7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos después de 10 semanas de alimentación con dietas que incluyen una mezcla de grasas compuesta por grasa de ave, aceite de palmiste (PKO) y un concentrado de algas rico en DHA, sugieren que puede ser una alternativa viable y sostenible para la acuicultura. El presente estudio demuestra que es posible reemplazar parcial o totalmente el aceite de pescado (FO) por una mezcla de grasas de origen vegetal y animal en la dieta del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), sin comprometer su rendimiento zootécnico.

Se han llevado a cabo numerosos estudios para evaluar la sustitución de FO con otras fuentes de lípidos (Zhou *et al.*, 2007; González-Félix *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2015) y medir su efectividad respecto a las variables de respuesta en los organismos cultivados, teniendo resultados favorables para la especie. Estudios como el de Wang *et al.* (2022) resaltan la importancia de encontrar fuentes alternativas de lípidos en el remplazo de FO. Sin embargo, advierten sobre las limitantes de ácidos grasos debido a su perfil, entre lo que destacan en grasas animales mayor cantidad de SFA. Los resultados de este estudio, muestran que solo dos variables de respuesta (Alim y IHS) se vieron directamente afectadas por las dietas, en las cuales se encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Se observó que el alimento consumido en el tratamiento Control fue superior al de los demás tratamientos, sin embargo, el porcentaje del IHS aumentó significativamente con el incremento en la inclusión de PKO, lo cual indica que los camarones bioacumulan en el hepatopáncreas los lípidos de la mezcla de grasas con mayor facilidad que solo con FO, lo que permite que una vez solventadas sus necesidades energéticas, está se almacene para su crecimiento. Lo cual coincide con lo observado en Khan *et al.* (2018), donde se realizó un estudio con la inclusión de PO en la dieta de *Penaeus monodon*, demostrando que el 68% de los ácidos grasos (AG) absorbidos se almacenan temporalmente en vacuolas lipídicas intracelulares antes de su movilización.

Las regresiones polinómicas (cuadráticas) muestran tendencia a disminuir debido a la inclusión parcial de la mezcla de grasas (TB). A partir del TM se observa un incremento en sus valores, alcanzando sus indicadores máximos en el TA para GP (g), GP (%), TEC (%), IHS (%) y TTC. Esto permite inferir que los tratamientos con menor FO (%) tienden a ser más efectivas con relación a las mezclas de grasas,

alcanzando altas correlaciones ( $R^2 > 0.960$ ). Estos resultados son acordes con los reportados por algunos investigadores (Lim *et al.*, 2011; Kader *et al.*, 2018; Soller *et al.*, 2019), quienes observaron que es posible un reemplazo parcial de hasta el 30% de FM, siempre y cuando se mantenga un equilibrio en los nutrientes de la dieta. Los resultados obtenidos refuerzan la hipótesis de que una inclusión de aceites a base de PO puede ofrecer resultados favorables en el crecimiento y la sobrevivencia de los organismos.

Además, distintas especies de peces como el salmón y la tilapia roja (Torstensen *et al.*, 2000; Ng *et al.*, 2001; Rosenlund *et al.*, 2001; Bahurmiz *et al.*, 2007) y camarones (Maulu *et al.*, 2022; Arambul-Muñoz *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2025) han sido estudiados con relación a la efectividad del uso de PKO como fuente de lípidos en alimentos para la acuicultura, donde se denota que, además de ofrecer igual o mejor rendimiento al uso de FO, estas fuentes (PKO) contiene altos porcentajes de ácido Láurico (C:12 45% - 55%) y AG de cadena media (Gunstone, 2011), lo cual supone menor gasto de ATP en los procesos de  $\beta$ -oxidación a nivel mitocondrial.

Si bien existe una gran preocupación a la hora de sustituir el FO por otras fuentes de grasas que no contengan EPA y DHA, los tratamientos que disminuyeron gradualmente la concentración de estos AG (EPA y DHA), presentaron una acumulación eficiente de estos mismos tanto en el músculo como en el hepatopáncreas. Y a pesar que hay autores que sugieren que estos AG esenciales (EPA y DHA) son fundamentales a nivel fisiológico (Araujo *et al.*, 2020), y que favorece el rendimiento general, estos índices no se vieron comprometidos cuando se sustituyó el FO. No obstante la sobrevivencia que terminó siendo un 10% menor en TA, estadísticamente no se comportó diferente respecto al Control, lo que puede indicar que no fue a causa del alimento proporcionado sino por un factor externo. Cabe mencionar que los porcentajes de  $\alpha$ -linolénico (ALA, 18:3n-3) en el hepatopáncreas no se destacaron en su contenido, sin embargo no presentaron ninguna tendencia a incrementarse según la fuente de las dietas experimentales. El C12 no se observó en los cromatogramas, lo que sugiere que existe una demanda significativa de estos AG de cadena media y corta. No obstante, el músculo presentó porcentajes de cadena corta como el ácido caprílico (C8), ácido cáprico (C10) y un mínimo porcentaje de C12, lo que sugiere que algunos AG de cadena media parecen ser retenidos o sintetizados activamente ya que estaban presentes en cantidades relativamente mayores en las

dietas a base de PKO, pero en comparación con las acumuladas en el hepatopáncreas las cantidades fueron mayores, consistente con lo reportado por Haja *et al.* (2018).

Es conocido que los AG SFA son responsables de una baja digestibilidad en comparación a MUFA y PUFA, además factores antinutricionales (FANs) como el ácido fólico y los taninos afectan directamente la digestibilidad y la absorción de nutrientes (Akinyeye *et al.*, 2011; Thakur *et al.*, 2019; Vikram *et al.*, 2020). A pesar de que los tratamientos no presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), las mayores desviaciones de los porcentajes de digestibilidad se registraron en los tratamientos Control y TA, mientras que los tratamientos TB y TM se mantuvieron con mejor estabilidad en el comportamiento de las digestibilidades, dando a entender que la mezcla de grasas no afectó la digestibilidad de materia seca. Está reportado en diversas investigaciones que los porcentajes de inclusión varían entre 62-87% para aves de corral, para monogástricos  $< 30\%$ , inclusive Kader *et al.* (2018) sugieren que inclusiones mayores al 40% reducen significativamente el crecimiento en camarones.

Además, Huang *et al.* (2022) y Chen *et al.* (2024) coinciden que una deposición anormal de lípidos en el hepatopáncreas puede dar lugar a complicaciones como trastornos en el metabolismo de las grasas, disfunción inmunológica, deficiencias de nutrientes, retraso en el crecimiento y la salud en general. En este caso la acumulación de AG en los organismos experimentados no afectó significativamente ( $P > 0.05$ ) aspectos fisiológicos relacionados con la salud analizados en la hemolinfa del camarón, como son la PT, GLU, CHO, TG. Sin embargo, en la Figura 3, a través de regresiones polinomiales se observan tendencias altamente significativas ( $R^2 = 0.833$ ), donde se muestra el incremento de la concentración de CHO, conforme se aumentó el porcentaje de inclusión de la mezcla de grasas. No obstante, el TA se mantuvo ligeramente menor a TM. Tocher (2015) comenta que el colesterol es un componente esencial para todas las membranas celulares, y también es el precursor de la hormona de la muda; por lo cual una deficiencia de este sería perjudicial para la salud y crecimiento de los organismos.

## 8. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la sustitución parcial a total del aceite de pescado (FO) por una mezcla de grasas de origen vegetal y animal, compuesta por grasa de ave, aceite de palmiste (PKO) y un concentrado de algas rico en DHA, es una alternativa viable y sostenible para la alimentación del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*). Los resultados indican que esta combinación no compromete el rendimiento zootécnico, ya que los camarones bioacumulan lípidos en el hepatopáncreas de manera eficiente, favoreciendo su crecimiento y supervivencia. Además, los tratamientos con menor porcentaje de FO mostraron tendencias más efectivas en variables clave como el crecimiento y el factor de conversión alimenticia. Estos hallazgos respaldan el uso de mezclas de grasas alternativas como una estrategia sostenible para reducir la dependencia del FO en la acuicultura, sin afectar negativamente la salud de los organismos.

## 9. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la inclusión de mezclas de grasas (grasa de ave 46%; grasa de palmiste 50%; concentrado de DHA 4%) por períodos de tiempo más prolongados, con el fin de evaluar los efectos que ejercen los ácidos grasos sobre el organismo del camarón (*Litopenaeus vannamei*) durante exposiciones mayores. Asimismo, se sugiere ampliar los estudios a otras especies acuícolas de interés comercial, con el objetivo de analizar su desempeño productivo bajo estas condiciones experimentales. Esta aproximación permitirá obtener más evidencias sobre la eficacia metabólica y la adaptabilidad fisiológica de los organismos estudiados, aportando datos comparativos esenciales para optimizar el desarrollo de alimentos acuícolas más rentables y sustentables.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Akinyeye, Richard & Adeyeye, Emmanuel & Fasakin, Olayinka & Agboola, Adedunke. (2011). Physico-chemical properties and anti-nutritional factors of palm fruit products (*Elaeis guineensis jacq.*) from Ekiti state Nigeria. ELECTRONIC JOURNAL OF ENVIRONMENTAL, AGRICULTURE AND FOOD CHEMISTRY. 10. 2190 - 2198.
- Al-Owafeir, M. A., & Belal, I. E. H. (1996). Replacing palm oil for soybean oil in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feed. Aquaculture Research, 27(4). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1996.tb00988.x>
- AOAC, 1990. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of AOAC International. Volume 1. AOAC International, Arlington, VA. 771.
- Arambul-Muñoz, E., Galindo-Valdez, L. A., & Viana, M. T. (2024). Effect of using a fat mixture to replace partial to total fish oil in diets for *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture; <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740262>
- Araujo, B. C., Flores-Galvez, K., Honji, R. M., Barbosa, V. M., Viana, M. T., Tinajero, A., & Mata-Sotres, J. A. (2020). Arachidonic acid effects on the overall performance, fatty acid profile, hepatopancreas morphology and lipid-relevant genes in *Litopenaeus vannamei* juveniles. Aquaculture; <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735207>
- Bahurmiz, OM, y Ng, WK (2007). Efectos de la fuente de aceite de palma en la dieta sobre el crecimiento, la composición de ácidos grasos en los tejidos y la digestibilidad de nutrientes de la tilapia híbrida roja, *Oreochromis sp.*, criada desde la etapa de siembra hasta el tamaño comercial. Acuicultura, 262 (2-4), 382-392. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.023>
- Blas Beorlegui, C., Rebollar, P. G., Mateos, G. G., Gorrochategui, M., Cegarra, E., Méndez, J.,... & de Ayala, P. P. (2019). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Bondad-Reantaso, M. G. (2001). Asia Diagnostic Guide to Aquatic Animal Diseases. FAO Fisheries Technical Paper No. 402, Supplement 2. Rome, FAO. 2001. 240 p. AOAC, 2015. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists, Arlington, VA, USA (2015)

- Briggs, M. (2009). *Penaeus vannamei*. Cultured Aquatic Species Information Programme. (FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome 2006) [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus\\_vannamei/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/en).
- Castro-Gómez, P., Fontecha, J., & Rodríguez-Alcalá, L. M. (2014). A high-performance direct transmethylation method for total fatty acids assessment in biological and foodstuff samples. *Talanta*. Elsevier BV. <http://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.05.051>
- Chen, C., Tian, H., Liu, X., Dai, Y., Wen, X., Zhao, H., & Wu, K. (2024). Effects of dietary lipid levels on growth, lipid metabolism, fatty acid composition and antioxidant capacity of juvenile greasyback shrimp (*Metapenaeus ensis*). *Aquaculture Reports*, 36, 102146. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102146>
- Cobo, R., & Pérez, L. (2018). General aspects of culture and genetics of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 35. <http://hdl.handle.net/1834/15129>
- Del Río-Zaragoza, O.B., Cavalheiro-Araújo, B. y Viana, M.T. 2021. Health status evaluation of striped bass (*Morone saxatilis*) exposed to low temperature in sea cage culture during the grow-out. *Aquaculture Research*. 52: 2435-2445. <https://doi.org/10.1111/are.15093>
- Elizalde, A. D. D., PISMAG PORTILLA, Y. A. M. I. D., & CHAPARRO, D. C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 7(1), 45-54. ISSN: 1692-3561. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380878958004>
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Fletes Ocón, H. B., & Bonanno, A. (2015). Respuestas a la crisis de la globalización neoliberal: Intervención del Estado en la producción de aceite de palma en Chiapas, México. *Carta Económica Regional*, 116, 5-35. <https://doi.org/10.32870/cer>
- Folch, J., Lees, M., y Stanley, GS (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of biological chemistry*, 226 (1), 497-509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5)
- Gatlin III, DM, Barrows, FT, Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, TG, Hardy, RW., y Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in

- aquafeeds: A review. *Investigación en acuicultura* , 38 (6), 551-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>
- González-Félix, ML, da Silva, FSD, Davis, DA, Samocha, TM, Morris, TC, Wilkenfeld, JS, & Perez-Velazquez, M. (2010). Replacement of fish oil in plant based diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 309(1-4), 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.028>
- Gunstone, F. D. (2011). Production and Trade of Vegetable Oils. 1–24. <https://doi.org/10.1002/9781444339925.ch1>
- Heires, M. (2008). The International Organization for Standardization (ISO). *New Political Economy*, 13(3), 357–367. <https://doi.org/10.1080/13563460802302693>
- Huang, Q., You, J., Wang, X., Bu, X., Song, Y., Zhang, C., Du, Z., Shi, Q., Qin, J., & Chen, L. (2022). Effect of vitamin A supplement on the growth performance, antioxidant status, and lipid accumulation of Chinese mitten crab *Eriocheir Sinensis* fed different lipid levels. *Aquaculture*, 554. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738123>
- Jensen, W. B. (2007). The Origin of the Soxhlet Extractor. *Journal of Chemical Education*, 84(12), 1913. <https://doi.org/10.1021/ed084p1913>
- Jobling, M. (2011). National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. *Aquaculture International*, 20(3), 601–602. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9480-6>
- Kader, M. A., Bulbul, M., Abol-Munafi, A. B., Sheriff, S. B., Keong, N. W., Ali, M. E., & Koshio, S. (2018). Effect of replacing fishmeal with palm kernel meal supplemented with crude attractants on growth performance of *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 11(1), 158-166.
- Khan, H. I., Dayal, J. S., Kondusamy Ambasankar, Madhubabu, E. P., Rajabdeen Jannathulla, & Rajaram, V. (2018). Enhancing the dietary value of palm oil in the presence of lysolecithin in tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture International*, 26(2), 509–522. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0235-x>
- Kok, B., Malcorps, W., Tlustý, M. F., Eltholth, M. M., Auchterlonie, N. A., Little, D. C., & Davies, S. J. (2020). Fish as feed: Using economic allocation to quantify the

- Fish In: Fish Out ratio of major fed aquaculture species. *Aquaculture*, 528. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735474>
- Li, Q., Zhang, D., Wang, N., Qin, H., Chu, Z., Sui, C., & Chen, J. (2025). Replacement of fish oil by palm oil in diet for juvenile greenfin horse-faced filefish (*Thamnaconus septentrionalis*): Effects on growth performance, fatty acid composition, antioxidant capacity and inflammatory responses. *Aquaculture*, 594. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741349>
- Lim, C., Mediha Yildirim-Aksoy, & Klesius, P. (2011). Lipid and Fatty Acid Requirements of Tilapias. *North American Journal of Aquaculture*, 73(2), 188–193. <https://doi.org/10.1080/15222055.2011.579032>
- Manríquez Patiño, A. Z. (2020) Dietas libres de harina y aceite de pescado. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California.
- Martínez-Córdova, L. R. (1999). Especies de peneidos actuales y potenciales para el cultivo. *Cultivo de camarones peneidos: principios y prácticas*. (No. Sirsi) i9789684630956).
- Maulu, S., Langi, S., Hasimuna, O. J., Missinhoun, D., Munganga, B. P., Hampuwo, B. M., Gabriel, N. N., Elsabagh, M., Van Doan, H., Abdul Kari, Z., & Dawood, M. A. O. (2022). Recent advances in the utilization of insects as an ingredient in aquafeeds: A review. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.07.013>
- Mendoza, R., Aguilera, C., & Montemayor, J. (1998). Utilización de Subproductos Avícolas en las Dietas para Organismos Acuáticos. *Avances En Nutrición Acuicola*. Recuperado a partir de <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/309>
- Montaño-Vargas, J., Shimada, A., Vásquez, C., & Viana M. T. (2002). Methods of measuring feed digestibility in the green abalone (*Haliotis fulgens*). *Aquaculture*, 213(1-4), 339–346. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00020-0](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00020-0)
- Ng Wing Keong, . (2005). Investigación sobre el uso de la torta de palmiste en alimentos para la acuicultura. *Palmas*, 26(3), 79–83. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1141>
- Ng, WK., Lim, PK. y Sidek, H. (2001). La influencia de una fuente de lípidos en la dieta sobre el crecimiento, la composición de ácidos grasos musculares y la

fragilidad osmótica de los eritrocitos de la tilapia híbrida. *Fisiología y bioquímica de los peces* 25, 301–310. <https://doi.org/10.1023/A:1023271901111>

Nitin Vikram, Sunil Kumar Katiyar, Singh, C. B., Husain, R., & Lokesh Kumar Gangwar. (2020). A Review on Anti-Nutritional Factors. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 1128–1137. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.123>

Parrish, C. C., Nichols, P. D., Pethybridge, H., & Young, J. W. (2014). Direct determination of fatty acids in fish tissues: quantifying top predator trophic connections. *Oecologia*, 177(1), 85–95. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3131-3>

Pintor, I., A. Mata-Sotres, J., Rodríguez-Hernández, A., del Rio Zaragoza, O., Teresa Viana, M., & Vazquez-Duhalt, R. (2022). Ingestion Effect of Polyethylene Terephthalate (PET) Nanoparticles on Juveniles of Shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 10(3), 113–121. <https://doi.org/10.12691/aees-10-3-6>

Rawles, S. D., Riche, M., Gaylord, T. G., Webb, J., Freeman, D. W., & Davis, M. (2006). Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) in recirculated tank production. *Aquaculture*, 259(1-4), 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.053>

Riche, M. (2015). Nitrogen utilization from diets with refined and blended poultry by-products as partial fish meal replacements in diets for low-salinity cultured Florida pompano, *Trachinotus carolinus*. *Aquaculture*, 435, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.001>

Rosenlund, G., Obach, A., Sandberg, M. G., Standal, H., & Tveit, K. (2001). Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Research*, 32, 323–328. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00025.x>

Sabbagh, M., Schiavone, R., Brizzi, G., Sicuro, B., Zilli, L., & Vilella, S. (2019). Poultry by-product meal as an alternative to fish meal in the juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) diet. *Aquaculture*, 511, 734220. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734220>

Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>

- Sargent, J. R., Tocher, D. R., & Bell, J. G. (2003). The Lipids. Fish Nutrition, 181–257. <https://doi.org/10.1016/b978-012319652-1/50005-7>
- Soller F, Roy Los Ángeles, Davis DA. (2019). Reemplazo de aceite de pescado en dietas basadas en plantas para camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, por aceite de pescado esteárico y aceite de palma. J World Aquacult Soc; 50: 186 – 203. <https://doi.org/10.1111/jwas.12571>
- Tejada-de Hernández I (1992) Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de educación continua en producción animal. México. 397p.
- Thakur A, Sharma V & Thakur A. 2019. An overview of anti-nutritional factors in food. International Journal of Chemical Studies, 7(1):2471-2479.
- Tocher, D. R., & Glencross, B. D. (2015). Lipids and Fatty Acids. Wiley Online Library, 47–94. <https://doi.org/10.1002/9781119005568.ch3>
- Torstensen, B. E., Lie, Ø. & Frøyland, L. (2000). Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)—Effects of capelin oil, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. Lipids, 35(6), 653–664. <https://doi.org/10.1007/s11745-000-0570-6>
- Wang, M., Liu, X., Chen, T., Cheng, X., Xiao, H., Meng, X., Jiang, Y., 2022. Inhibition and potential treatment of colorectal cancer by natural compounds via various signaling pathways. Front. Oncol. 12, 956793 <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.956793>.
- Xu, D., He, G., Mai, K., Zhou, H., Xu, W., & Song, F. (2015). Postprandial nutrient-sensing and metabolic responses after partial dietary fishmeal replacement by soyabean meal in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). British Journal of Nutrition, 115(3), 379–388. <https://doi.org/10.1017/s0007114515004535>
- Zhou, Q., & Wei, Z. (2023). Food-grade systems for delivery of DHA and EPA: Opportunities, fabrication, characterization and future perspectives. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(15), 2348–2365. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1974337>
- Zhou, Q.-C., LI, C.-C., LIU, C.-W., CHI, S.-Y., & YANG, Q.-H. (2007). Effects of dietary lipid sources on growth and fatty acid composition of juvenile shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Nutrition, 13(3), 222–229. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00470.x>