



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
BAJA CALIFORNIA**

---

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**T E S I S:**

**“INCLUSIÓN DE PROTEÍNA FERMENTADA  
DE MAÍZ (MOTIV) EN DIETAS PARA  
CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*) Y  
SU EVALUACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE  
CRECIMIENTO”**

**PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL  
GRADO DE LICENCIATURA EN  
BIOTECNOLOGÍA EN ACUACULTURA**

**PRESENTA:  
Carlos Ernesto Pérez León**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
CAMPUS ENSENADA



**“INCLUSIÓN DE PROTEÍNA FERMENTADA  
DE MAÍZ (MOTIV) EN DIETAS PARA  
CAMARÓN BLANCO (*Litopenaeus vannamei*) Y  
SU EVALUACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE CRECIMIENTO”**

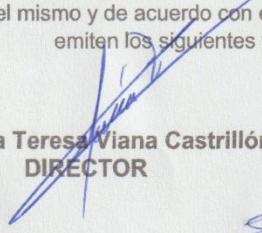
TESIS

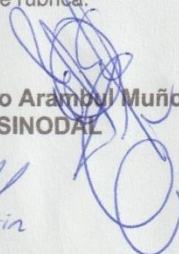
PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**LICENCIADO EN BIOTECNOLOGÍA EN ACUACULTURA**

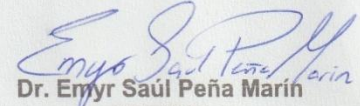
**PRESENTA:**

**Carlos Ernesto Pérez León  
351675**

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:

  
**Dra. María Teresa Viana Castrillón  
DIRECTOR**

  
**Dr. Eulalio Arambú Muñoz  
SINODAL**

  
**Dr. Emyr Saúl Peña Marín  
SINODAL**

“Por la Realización Plena del Ser”

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

## **Dedicatoria**

Este trabajo esta dedicado a mi familia: a mi madre, que en todo momento, feliz o complicado, me brindo apoyo y cariño, haciendo más sencillo llegar hasta aquí; a mi doña, la cual siempre me recibía en casa con un abrazo cálido después de un periodo complicado en la universidad; a mis hermanos, que sin ellos preguntándome por la tesis cada rato no hubiera tenido la misma motivación para terminar este trabajo; a mi tío y sobrino, que también me dieron un plus anímico para la culminación de este trabajo; y por supuesto que a Jazz, que sin sus palabras de aliento en mis momentos mas bajos, esto no hubiera sido posible.

A mis amigos y compañeros de ciencias marinas, que, sin su apoyo y su interés en mi tesis, quizás me hubiera tardado un poco más en acabarla.

Al yo de hace años, que jamás se hubiera imaginado al yo de hoy en día con una tesis culminada.

A todo aquel que alguna vez pensó en abandonar su carrera, y hoy en día ya son profesionistas, también a ustedes.

Al sector acuícola, que día a día está en la búsqueda de alternativas viables en los retos de avanzar en la sostenibilidad.

Y, a mi tata, que, si no me hubiera inculcado su amor por el mar y la pesca, quizás yo no me hubiera decidido por estudiar biotecnología en acuicultura, se que desde un lugar cercano estas orgulloso de mi.

## **Agradecimientos**

Siempre estaré sumamente agradecido con las personas que fueron parte de este trabajo. Sin su apoyo esta tesis hubiera sido solo un cascarrón sin alma. Primeramente, quiero agradecer a mi directora de tesis, la Dra. María Teresa Viana, por brindarme la gran oportunidad de hacer una tesis con usted, también un enorme agradecimiento por sus enseñanzas, tiempo, correcciones, regaños y palabras de aliento en mis momentos de incertidumbre. También por darme oportunidad de acabar la tesis, a pesar de mis periodos de ausencia. Trabajar con semejante figura en el sector acuícola, siempre será un honor y una inspiración para mí.

A todo el equipo del laboratorio de nutrición acuícola, al Dr. Lalo y Dr. Emyr, por siempre apoyarme, enseñarme y decirme las cosas como son, alguna que otra risa también vienen incluidas en el agradecimiento. Realmente son una genuina inspiración para mí. Así mismo, un enorme agradecimiento a Aurora, Alonso, Andrea, Escarlit, Martín, Adrián, Abril, Atzimba, Dr. Oscar, a todos los chicos que iban a prestar servicios al laboratorio, todos ustedes fueron parte importante en las actividades de la tesis, y en mi aprendizaje a lo largo de este camino.

A todos mis amigos de la carrera, en especial a Pili, Tony, Chong, Alam y Jenny por siempre creer en mí (bueno, más o menos jaja), y mostrar interés en mi tesis.

A todo el personal académico y docente de ciencias marinas, que sin sus enseñanzas yo no hubiera logrado esto, muchas gracias.

A mi alma mater, la UABC, mi facultad, Ciencias Marinas, al instituto, IIO, que fue donde realice esta tesis y en donde me desarrolle como estudiante.

A todas las personas de mi ámbito diario, que se tomaban el tiempo en preguntarme sobre mi tesis, gracias infinitas.

Y a mi familia, que sin ustedes esto hubiera sido el triple de difícil de lo que fue.

## Resumen

El presente estudio evaluó el efecto de la inclusión de proteína de maíz fermentada (PMF, marca MOTIV®) en sustitución de harina de soya sobre el rendimiento de crecimiento, la conversión alimenticia y la salud del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Se formularon cuatro dietas extruidas isolipídicas e isoproteicas (~40 % PC, 7.6 % lípidos) con inclusión de 0 % (Control), 7.5 %, 12.5 % y 15 % de MOTIV, reemplazando proporcionalmente la soya. En un sistema de recirculación acuícola, se distribuyeron 18 camarones (0.5 g iniciales) por estanque (n=3 réplicas/tratamiento) y se alimentaron al 10–12 % del peso corporal, cuatro veces al día, durante 60 días. Se midieron parámetros de crecimiento (peso final, ganancia relativa, tasa de crecimiento específico), conversión alimenticia (FCA), consumo, sobrevivencia e índice hepatosomático. Además, se analizaron composición proximal y perfil de ácidos grasos en músculo y hepatopáncreas, digestibilidad aparente y marcadores bioquímicos en hemolinfa. Aunque las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), los camarones alimentados con 7.5 % y 12.5 % de MOTIV mostraron las mejores tendencias en peso final (3.2 g y 3.1 g), ganancia de peso (483 % y 455 %) y FCA más baja (2.02 y 2.08). El análisis de regresión cuadrática y de líneas discontinuas indicó un nivel óptimo de inclusión alrededor de 10.4–10.6 % MOTIV para maximizar la tasa de crecimiento y la ganancia de peso. No se observaron efectos adversos en la composición proximal, perfil lipídico ni en los parámetros sanguíneos. Se concluye que la proteína de maíz fermentada (MOTIV) puede sustituir hasta aproximadamente un 10 % de harina de soya en dietas para *L. vannamei*, manteniendo o mejorando el rendimiento productivo y contribuyendo a la sostenibilidad de la nutrición acuícola.

## Palabras clave

Nutrición, *Litopenaeus vannamei*; proteína de maíz fermentada; MOTIV; dieta alternativa; parámetros productivos.

## CONTENIDO

Dedicatoria .....	3
Agradecimientos .....	4
Resumen.....	5
Listado de cuadros .....	8
Listado de figuras .....	9
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 El cultivo del camarón blanco, <i>Litopenaeus vannamei</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Sostenibilidad en la alimentación para camarón.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Utilización de ingredientes alternativos a la harina de pescado y la soya en la formulación de dietas para camarón. ....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. El uso del maíz fermentado como ingrediente en la formulación de dietas para camarones.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Proceso, peletizado y extrusión.....</b>	<b>18</b>
<b>II. HIPÓTESIS .....</b>	<b>21</b>
<b>III. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Objetivos específicos .....</b>	<b>21</b>
<b>IV. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. Formulación y elaboración de alimentos.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1. Proceso de extrusión .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2. Diseño experimental y alimentación .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3. Parámetros fisicoquímicos y calidad del agua.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4. Mantenimiento del sistema de recirculación .....</b>	<b>29</b>
<b>4.5. Composición proximal de dietas experimentales .....</b>	<b>29</b>
<b>4.6. Crecimiento, recolección de muestras y análisis.....</b>	<b>31</b>
<b>4.7. Digestibilidad aparente.....</b>	<b>32</b>
<b>4.8. Análisis de ácidos grasos (dieta y hepatopáncreas).....</b>	<b>33</b>
<b>4.9. Química sanguínea .....</b>	<b>34</b>
<b>4.10. Análisis estadístico.....</b>	<b>35</b>
<b>V. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Desempeño productivo.....</b>	<b>36</b>
<b>5.2. Composición proximal del músculo y el hepatopáncreas. ....</b>	<b>43</b>

<b>5.3. Ácidos grasos en el hepatopáncreas</b> .....	45
<b>5.4. Digestibilidad aparente</b> .....	48
<b>5.5. Análisis bioquímico de la hemolinfa</b> .....	48
<b>VI. DISCUSIÓN</b> .....	50
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	54
<b>VIII. RECOMENDACIONES</b> .....	54
<b>VIII. REFERENCIAS</b> .....	55

## Listado de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Formulación teórica de cuatro tratamientos experimentales con inclusión de proteína de maíz fermentado (MOTIV) en diferentes porcentajes.....	23
<b>Cuadro 2.</b> Composición de los ácidos grasos presentes en los tratamientos (% del total de ácidos grasos). .....	24
<b>Cuadro 3.</b> Porcentaje (%) total aminoácidos en los tratamientos de MOTIV, calculados a partir de la composición de los ingredientes para cada tratamiento..	26
<b>Cuadro 4.</b> Datos de rendimiento productivo de los camarones <i>L. vannamei</i> alimentados con diferentes sustituciones de PMF por harina de soya después de 60 días de tratamiento.....	38
<b>Cuadro 5.</b> Composición proximal del músculo de camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> alimentado durante 60 días con dietas formuladas con cuatro niveles de maíz fermentado (PMF, por sus siglas en inglés).....	44
<b>Cuadro 6.</b> Composición proximal del hepatopáncreas de camarón <i>L. vannamei</i> alimentado durante 60 días con dietas formuladas con cuatro niveles de Maíz fermentado (PMF, por sus siglas en inglés). Los resultados son presentados por la media + desviación estándar (n=3) .....	44
<b>Cuadro 7.</b> Composición de los ácidos grasos en los hepatopáncreas de los camarones blancos <i>L. vannamei</i> , alimentados con 4 tratamientos con diferentes niveles de inclusión de PMF durante 60 días (% del total de ácidos grasos).....	47
<b>Cuadro 8.</b> Valores de digestibilidad aparente en materia seca (%) en los camarones blancos <i>L. vannamei</i> de los diferentes tratamientos. ....	48
<b>Cuadro 9.</b> Análisis bioquímico en la hemolinfa de los camarones blancos <i>L. vannamei</i> alimentados con los distintos niveles de inclusión de PMF (MOTIV). ....	49

## Listado de figuras

**Figura 1.** Análisis de regresión cuadrática entre los niveles de inclusión de PMF en los distintos tratamientos y los parámetros de rendimiento. Como lo son peso individual final (g) (A), la ganancia de peso (%) (B), la tasa de crecimiento específico (%/día). El círculo (°) indica los valores marcados en el cuadro 4. Las líneas indican las ecuaciones de regresión cuadrática de mejor ajuste. Tratamientos: Control, Tratamiento 7.5, Tratamiento 12.5 y Tratamiento 15. .... 40

**Figura 2.** Análisis de regresión cuadrática entre los niveles de inclusión de PMF en los distintos tratamientos y los parámetros de rendimiento. Como lo son el factor de conversión alimenticia (D), el consumo de alimento (%/día) y el índice hepatosomático (g/100g org) (F). El círculo (°) indica los valores marcados en el Cuadro 4. Las líneas indican las ecuaciones de regresión cuadrática de mejor ajuste. Tratamientos: Control, Tratamiento 7.5, Tratamiento 12.5 y Tratamiento 15. .... 41

**Figura 3.** Modelo de regresión de líneas discontinuas que muestran el nivel de tratamiento óptimo de PMF (MOTIV) utilizando los datos de tasa de crecimiento específico (%/día) (A) y ganancia de peso (%) (B). .... 42

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 El cultivo del camarón blanco, *Litopenaeus vannamei*

La acuicultura es una actividad agroindustrial con crecimiento alto a nivel mundial en las últimas décadas. De 1970 a 2008, la producción acuícola incrementó a un ritmo anual del 6.2% en contraste con el 8.6% de la producción pesquera y pecuaria en el mismo periodo (Martínez et al., 2014). Para el 2012, la producción acuícola rebasó los 6 millones de toneladas, representando más del 40% del total de productos acuáticos totales (Martínez et al., 2014). La FAO (2020) prevé que en 2030 la producción total de acuicultura (exceptuando las algas) alcance los 106 millones de toneladas, lo que representa un incremento global del 22% comparado con el 2020.

De los diversos grupos de especies cultivadas en el mundo, los crustáceos presentan el desarrollo más importante, principalmente los camarones peneidos. El cultivo del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) comprende una de las principales especies derivadas de esta actividad en varios países del mundo, a pesar de que su origen son las costas del Pacífico entre México hasta el Perú. Esta especie contribuyó con el 53% de la producción global de camarón (pesca y acuicultura) en el año 2018 y se expandió rápidamente de 2.64 millones de toneladas en el 2010 a 4.96 millones de toneladas en el año 2018 (FAO, 2020). En 2022, *L. vannamei* fue la principal especie acuícola producida, con 6,8 millones de toneladas (FAO, 2024).

La producción acuícola de camarón en México ha experimentado un crecimiento significativo. En 2016, México produjo 129,049 toneladas métricas (TM) de camarón, lo que representa una tercera parte del volumen total de la producción

acuícola nacional: 388,967 toneladas (CONAPESCA, 2018). En 2021, la producción de camarón cerró con 227 mil TM, lo que significa un crecimiento de 3.7% respecto a 2020 (Veterinaria digital, 2020). El estado de Sinaloa es el principal productor de camarón, con más de 96 mil toneladas, seguido por Sonora con 75 mil toneladas y Nayarit con 17 mil toneladas (SADER, 2020). El camarón de cultivo ha superado en valor, con 11,479 millones de pesos, a otras especies comerciales como la tilapia, atún para enlatado, ostión y trucha (CONAPESCA, 2018).

El camarón blanco puede tolerar un amplio rango de salinidades, y se puede cultivar en ecosistemas marinos, salobres, de estuarios y de agua dulce (Jaffer et al., 2020). Por tanto, el cultivo de camarón presenta una serie de características positivas como lo son: fácil cultivo con adaptación a distintas salinidades, gran demanda del mercado, crecimiento en la producción, alta rentabilidad, siempre y cuando se mantenga un sistema de gestión en su producción adecuado (Ariadi et al., 2019). Otra de las ventajas en el cultivo de camarón es el corto tiempo para su crecimiento a talla comercial con un valor relativamente alto (Prayitno et al., 2022).

## **1.2. Sostenibilidad en la alimentación para camarón**

La sostenibilidad o desarrollo sostenible según la ONU (1987) se trata de “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Derivado de este concepto se puede argumentar que debido al cambio climático habrá cambios considerables en la disponibilidad y el comercio de productos marinos con consecuencias considerablemente significativas. Dichos cambios serán más complicados para aquellos países que dependan del océano y de sus productos como principal fuente de proteína (FAO, 2019). Edwards et al. (2019) argumentan que actualmente esta actividad de producción de alimentos es la de mayor crecimiento, representa una mayor biomasa de peces que la se pesca, así como una biomasa mayor a la producida de la carne de res. Además, esta actividad depende

del uso de numerosos recursos naturales en su producción. Por este motivo, la sostenibilidad ha sido tema de interés creciente en los últimos años en el sector acuícola. Esta sostenibilidad puede basarse en un uso eficiente de recursos tales como la energía, el agua, la tierra, los fertilizantes y el alimento (Boyd et al., 2020).

En la producción acuícola se utilizan alrededor de 20 millones de toneladas de peces silvestres, los cuales equivalen a una quinta parte de las especies de peces silvestres capturadas, como fuente de proteínas para la elaboración de alimentos acuícolas (FAO, 2018). A pesar de que estén haciendo esfuerzos por efficientizar el uso de las proteínas marinas para la elaboración de alimentos, no se está logrando a un ritmo que pueda satisfacer la producción acuícola llevada a cabo en la actualidad (Fox, 2014). Dado este motivo, es de suma importancia que se busquen fuentes alternativas que hagan minimizar o reemplazar a las fuentes de proteínas marinas para que la producción acuícola no se vea comprometida en el futuro.

Es necesario realizar cambios en la mejora de la fabricación y la producción de materias primas en la elaboración de alimentos acuícolas. Entre estos cambios se busca la utilización de fuentes de energía alternativas, el uso de la producción primaria y otros ingredientes alternativos derivados de los subproductos de los desechos de otras actividades humanas como lo son los insectos, las algas, mohos, hongos, bacterias, entre otros (Boyd et al., 2020). Esta perspectiva debería aminorar la importante competencia entre la acuicultura y otras actividades de producción animal por las materias primas utilizadas en la fabricación de alimentos.

A medida que la producción de camarón siga en aumento, su alimento debe de incrementarse en igual magnitud lo cual pone en reto la utilización de ingredientes que compiten con otras producciones e incluso con la alimentación para humanos. Es aquí donde el hablar de dietas sostenibles es importante, además de cumplir con sus requerimientos nutricionales, los cuales se vean reflejados en el crecimiento y salud, los recursos naturales no se agoten (Colombo y Turchini, 2021). De acuerdo con Tacon y Metian (2008), para poder mantener este crecimiento continuo en la

producción acuícola, se deberían producir al menos 40 millones de toneladas métricas (TM) de alimentos formulados para peces y crustáceos. Es importante mencionar que México, siendo el quinto productor mundial de alimentos formulados de acuerdo con la CONAFAB (2023), produjo 38.5 TM de alimento en 2023 para todas las especies, en donde tan solo un 4.5% corresponde a alimentos acuícolas.

En la camaronicultura, al igual que todos los procesos de producción animal, el alimento es lo que representa el mayor costo de producción. De acuerdo con Rego et al. (2017), en la producción semi-intensiva e intensiva de camarón, el alimento representa más del 60% de los costos de producción. Por tanto, no sólo la calidad de los ingredientes en la formulación de las dietas, sino también su precio, es de suma importancia. La proteína es el ingrediente más importante en la elaboración de dietas para camarón, pues, aunque son considerados omnívoros, constituye la base de su crecimiento (Sánchez-Muros et al., 2020). Históricamente, debido a ciertas características deseables como la proteína de alta calidad, un buen perfil de aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas, minerales, palatabilidad, contenido lipídico, alta digestibilidad y falta de factores anti nutricionales, la harina de pescado ha sido el ingrediente más importante en la fabricación de alimento para camarones (Tacon y Metian, 2008; Davis y Arnold, 2000).

De las harinas de pescado, por lo general se utilizan las harinas de peces pelágicos menores como lo son la sardina, anchoveta, macarela, entre otros (Martínez et al., 2014). La cantidad de harina de pescado en las dietas comerciales de camarón usualmente varían entre 25% y 50% dependiendo de las especies y de la etapa del cultivo (Lim y Dominy, 1990; Richard et al., 2011). A pesar de que el suministro de harina de pescado es limitado en el mercado mundial (Hardy, 2010), su demanda en crecimiento, los altos costos de la materia prima, además de cuestiones éticas han resultado en que los niveles promedio de inclusión en las dietas han ido disminuyendo constantemente (Jackson, 2012).

También se debe saber que la producción de harina de pescado no ha presentado un aumento en los últimos años, los cuales se han mantenido entre 5 y 7 millones de TM (FAO, 2009). Esto se debe principalmente a que las poblaciones de pelágicos menores utilizadas para la elaboración de harinas de pescado han alcanzado su nivel máximo sostenible de explotación (Alder et al., 2008). Por otro lado, recientemente ha habido un criticismo hacia su utilización para harina en vez de consumo directo para el humano, fomentando así la economía circular, en donde el reciclamiento de los insumos se debe anteponer para lograr una mayor eficiencia productiva.

Una manera de bajar los costos de alimentación es con el uso de fuentes proteicas vegetales. Estas por lo general son más económicas que la harina de pescado y en muchas especies acuícolas han dado buenos resultados. Entre esos ingredientes, la harina de soya es uno de los más utilizados. Esta materia prima es regularmente considerada como un ingrediente de calidad alta y de costo menor en la elaboración de las dietas de camarón. Esto se debe principalmente a su perfil nutricional, alta digestibilidad, así como su disponibilidad en grandes cantidades (Amaya et al., 2007). De acuerdo con Maldonado et al. (2012) la soya proporciona una buena ganancia de peso para la etapa juvenil del camarón blanco. Sin embargo, recientemente se ha descrito que cuando se utiliza soya en una alta proporción, podría generarse un retraso en el crecimiento (Chuchird et al., 2022). No obstante Yohana et al. (2023) establecen que la inclusión de harina de soya en porcentajes adecuados mejora el factor de conversión alimenticia.

A pesar de lo mencionado anteriormente, debido a su popularidad como fuente proteica, la soya como ingrediente en la elaboración de dietas para camarón ha sufrido incrementos en su precio, el cual se viene incrementando de manera continua. El precio de la tonelada métrica de soya paso de \$175 (dólares) en el año 2000, a \$527 en el año 2023 (Index Mundi, 2023). Debido a esto, es importante y necesario que la industria de la producción de alimentos acuícolas observase nuevas alternativas de ingredientes, los cuales puedan ser más sostenibles y económicos.

### **1.3. Utilización de ingredientes alternativos a la harina de pescado y la soya en la formulación de dietas para camarón.**

La disminución de la harina de pescado para hacer los alimentos sostenibles (Bulbul et al., 2013), así como la soya, en aquellos casos en donde se han observado efectos nocivos para la salud por factores anti-nutricionales, es crucial. Sólo de esta manera se podrá dar un crecimiento continuo de la industria acuícola. En los esfuerzos para reducir la inclusión de estos ingredientes en la formulación de dietas, se han estado probando distintas fuentes de proteína alternativas, las cuales puedan suministrar los requerimientos nutricionales de los camarones sin reducir la calidad de alimentos (Sánchez-Muros et al., 2020). Entre las alternativas se encuentran otras fuentes vegetales de origen acuático (marino o de agua dulce) en las que se pueden encontrar: las macroalgas (*Laminaria*) (Cruz et al., 2001), microalgas (*Nannochloropsis*) (Cai y Li, 2012), así como la espirulina (Hanel et al., 2007). También se han evaluado sub-productos provenientes de la carne renderizada (Renders) provenientes: la harina de carne y hueso tanto de ave, cerdo y bovino (Tan y Yu, 2003) así como harina de sangre (Lemos et al., 2009). Dentro de los ingredientes obtenidos de animales terrestres, Amaya et al. (2007) estudiaron el efecto de la incorporación de la harina de ave junto con harina de pescado y calamar, con relación al incremento de una mezcla de harinas vegetales (soya, gluten de maíz, sorgo y solubles de fermento), encontrando resultados favorables siempre y cuando no se elimine por completo la harina de pescado.

Por otro lado, existen pocos trabajos que demuestren el uso de otros productos renderizados de animales terrestres, como el de harina de carne y hueso de bovino y cerdo. A este respecto, López-Ortiz et al. (2023), evaluaron la harina de subproducto de bovino en sustitución a la de ave, obteniendo resultados prometedores. Por otro lado, los sub-productos provenientes de la pesquería también han sido evaluados, tales como: los ensilados de desechos de peces marinos (Gallardo et al., 2012), los desechos del atún (Hernández et al., 2010), el

hidrolizado de *Krill* (Smith et al., 2005), la harina de camarón (Goytortua-Bores et al., 2006) y la harina de calamar (Ezquerria-Brauer et al., 2007) entre otros, con resultados alentadores.

Otras fuentes alternativas de proteínas como el ensilaje de grillo (Mauro-Félix, et al., 2025), la harina de semillas de algodón y la proteína de maíz han sido evaluadas para complementar la formulación de las dietas de camarón (Lim, 1996; Molina-Poveda et al., 2014).

#### **1.4. El uso del maíz fermentado como ingrediente en la formulación de dietas para camarones.**

Los productos derivados del maíz son prometedores debido a su excelente fuente de proteína (Molina-Poveda et al., 2014), precio, y su composición favorable de proteínas y aminoácidos (Novriadi et al., 2022). Recientemente, los subproductos derivados del proceso de producción de etanol a partir del maíz, ya sea por vía húmeda o por procesamiento de molienda en seco (Rausch y Belyea, 2006) están disponibles en el mercado y se pueden usar para la formulación de alimentos para camarones (Galkanda-Arachchige et al., 2021). Aparte de lo que hoy en día se procesa para etanol, se siguen procesando los productos tradicionales como el aceite de maíz o el gluten de maíz (CGF), (Malumba et al., 2015). Recientemente, se encuentra disponible la proteína de maíz fermentada (**PMF**).

Los alimentos fermentados se distinguen por haber sido sometidos a la acción de microorganismos, tales como bacterias, hongos o incluso enzimas provenientes de otros organismos, para poder a obtener cambios bioquímicos, los cuales causen modificaciones en los alimentos (Bamforth, 2005). Proceso en donde ocurren ciertas modificaciones que por lo general repercuten en la mejora de la calidad de estos alimentos, tales como: mayor digestibilidad, menor cantidad de microorganismos indeseables (inocuidad), mejor sabor o una combinación de estos.

Recientemente, Galkanda-Arachchige et al. (2021) informó sobre el uso de **PMF** como último ingrediente a base de maíz con un alto contenido de proteínas (~69.10%), bajo contenido de fibra y contenido de propiedades probióticas que puedan reemplazar el uso de harina de pescado en el uso de las dietas para camarón blanco (*L. vannamei*). También, en el trabajo realizado por Novriadi et al. (2023), se informó que el uso de la **PMF** en un 12% podría mejorar la biomasa, el peso medio final y el factor de conversión alimenticia (FCA).

Además, se ha informado que el concentrado de proteína de maíz fermentado pudiera tener propiedades probióticas (Galkanda et al., 2021), las cuales pudieran aumentar la resistencia a enfermedades en los camarones. Sin embargo, ya que esta harina fermentada se recomienda dentro de un proceso de extrusión, es donde es imposible mantener vivos a los microorganismos, entonces podríamos pensar que más bien se trate de posbióticos, que son los metabolitos secundarios producidos por los microorganismos.

Entre los productos de maíz fermentado y con marca registrada, se encuentra MOTIV (MOTIV®, Cargill Starches, Sweeteners and Texturizers, Cargill, Inc., Blair, NE, USA) es un concentrado de proteína de maíz elaborado mediante la fermentación, la cual, a través de sus enzimas elimina los componentes no proteicos del maíz. La **PMF** es rico en lisina, tiene muy poco porcentaje de cenizas, así como muy reducida cantidad de almidón. Por otra parte, MOTIV tiene altos niveles de metionina y otros aminoácidos esenciales (Prayitno et al., 2022).

Se ha demostrado que cuando **PMF** se incluye en la dieta de los camarones en sustitución de harina de pescado y concentrado de gluten de maíz, hay mejor crecimiento y conversión alimenticia (Galkanda-Arachchige et al., 2021; Novriadi et al., 2023). Ellos comentan que una inclusión de 12% de MOTIV en los tratamientos de camarón tiene un mejor rendimiento en la ganancia de peso y en la conversión alimenticia, y que una inclusión mayor al 12%, pudiera tener resultados desfavorables. También se informó que solo la inclusión al 7.5% puede tener

similares un rendimiento similar a la del 12%. De acuerdo con la empresa que manufactura el MOTIV (Cargill Branded Feed, 2019) existe una mejorara a través de la modulación del pH gastrointestinal (Cargill Branded Feed, 2019). Sin embargo, no se han hecho estudios en donde MOTIV sustituya a la harina de soya (45% de PC). Por lo que debido a las características antes mencionadas se prevé que el uso de este producto sea beneficioso para mejorar el crecimiento y la conversión alimenticia, sustituyendo a la harina de soya (45% PC), con un mejor rendimiento en el desempeño de los camarones.

### **1.5. Proceso, peletizado y extrusión.**

El cultivo intensivo y semi-intensivo de camarón se fundamenta principalmente en el empleo de alimentos balanceados, formulados específicamente para cada fase del proceso de cultivo, con un enfoque en la utilización de fuentes de alta calidad. El alimento para camarón es relativamente complejo, debido a su tamaño y desempeño en el agua. Lo anterior ya que requiere una mayor estabilidad en el agua, es decir, el alimento debe permanecer al menos una hora disponible a ser ingerido, a diferencia de los peces que lo consumen con mayor rapidez (Muñoz, 2004). Por otro lado, es necesario que al alimento de los camarones tengan atractivos adecuados para ser localizados para su ingestión y así minimizar su permanencia en el agua (Muñoz, 2004). Así mismo, el alimento debe ser resistentes a daños mecánicos relacionados con su transporte, manipulación fuera y dentro de los sistemas de alimentación automáticos (Poveda y Ortega, 2021).

Existen dos tipos principales de alimentos creados para las distintas etapas. La dieta microparticulada para post-larvas y las dietas extruidas o peletizadas de diferentes tamaños para la etapa de engorda (Wickins y Lee, 2002) La extrusión es un proceso que conlleva una mayor gelatinización de los almidones utilizados y requiere en principio, un equipo diferente. Cualquiera de los dos procesos, consisten

en tomar materias primas finamente molidas y cernidas, para pasarlas a través de elementos como la aplicación de calor, humedad y presión mecánica para favorecer la gelatinización y compactación para transformarlas en partículas de distintos tamaños (Muñoz, 2004). Los alimentos peletizados para camarón usan diversos tipos de ligantes, mientras que los extruidos no lo requieren, ya que utilizan las mismas propiedades del almidón. Es así como el proceso de extrusión recobra importancia en la elaboración de alimento para camarón (Kearns, 1998). Por otro lado, una molienda fina de las materias primas, aparte del acondicionador de vapor, matrices de tamaño y con alta fuerza de comprensión, incrementan los niveles de gelatinización del almidón entre un 50-60% (Muñoz, 2004). Reuscher (2006) comenta que, desde el punto de vista del proceso de peletización, el uso de ingredientes finamente molidos da como resultado una mejor producción de alimentos de mejor calidad y un alimento que los camarones puedan digerir con mayor eficacia, con un menor costo de producción. Además, el contar con una buena molienda se evita la formación de poros mejorando la capacidad de compactación y, por ende, hundimiento y estabilidad.

Hoy en día, la extrusión se ha convertido en la principal técnica en la elaboración de alimentos para camarones a nivel mundial, debido a la alta calidad física y nutricional que brindan los alimentos extruidos (Soares et al., 2021). Sin embargo, en México existen industrias que aún no convierten sus procesos de peletización a extrusión.

De acuerdo con Muñoz (2004) en la extrusión se pueden establecer las siguientes ventajas:

- Almidón altamente cocido.
- Reducción de un 20 a 25% de ingestión de alimento, mejorando los índices de conversión.
- Flexibilidad para elaborar alimentos a tamaños menores de 1 mm para post-larvas así como extruidos de 1.2mm para los adultos.

- Reducción de harinas de pescado en la dieta, al hacer más digestibles otras harinas de origen vegetal.
- Menor tasa de excreción de nitrógeno, por lo que hay menor proliferación de bacterias, favoreciendo la supervivencia.

La extrusión es un proceso común en la industria, no sólo en la de alimentos. Por lo que se han podido ir anexando aditivos que favorezcan un mejor desempeño del alimento en el agua, tanto por estabilidad como por hundimiento.

## II. HIPÓTESIS

Si se incluyen diferentes porcentajes de proteína de maíz fermentado (**PMF**) en la dieta para la producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en sustitución de la harina de soya, se generará un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento de la especie.

## III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la sustitución de distintos niveles de PMF por harina de soya sobre los parámetros productivos y salud en el uso de proteína de maíz fermentado en distintos niveles en la dieta para el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*).

### 3.1. Objetivos específicos

- a) Analizar el efecto de la sustitución de distintos niveles de PMF por harina de soya sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*).
- b) Analizar el efecto de la sustitución de distintos niveles de **PMF** por harina de soya sobre la calidad del producto final en término de los ácidos grasos (AGs) en hepatopáncreas de los camarones (*Litopenaeus vannamei*) alimentados durante el experimento.
- c) Analizar el efecto de la sustitución de distintos niveles de **PMF** por harina de soya sobre la digestibilidad aparente en materia seca de los distintos tratamientos en los camarones (*Litopenaeus vannamei*) alimentados durante el experimento.
- d) Analizar el efecto de la sustitución de distintos niveles de **PMF por harina de soya** sobre la salud de los camarones (*Litopenaeus vannamei*) mediante el análisis químico sanguíneo en la hemolinfa.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Formulación y elaboración de alimentos

Se formularon cuatro tratamientos según se muestra en el Cuadro 1, en cuyo conjunto cumplen con los requerimientos especificados para la especie de acuerdo con el NRC (2011). Estos se elaboraron a partir de harina de ave, harina de pescado y de la inclusión de la proteína proveniente del maíz fermentado (**PMF**) (MOTIV) (excluyendo el tratamiento control que no tendrá MOTIV en su formulación) (Cuadro 1). Los tratamientos contienen un promedio de 40.2% de proteína cruda y de 7.60% de lípidos. La harina de maíz fermentada (MOTIV) reemplazo la harina de soya para no alterar el contenido de proteínas animales. Sin embargo, para compensar el contenido de proteína, se ajustó con PROPLEX T que es un extracto de proteína de levadura que es un producto de desecho en el proceso de fermentación para la obtención de treonina. Los tratamientos se realizaron bajo el método de extrusión, con la extrusora ubicada en el Laboratorio de Nutrición y Fisiología Digestiva (Laboratorio FEED-AQUA, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, B. C., México).

Los tratamientos en este ensayo fueron:

- a) Control: 0% de MOTIV, 7% de harina de pescado, 18% de harina de ave, 35% de soya y 5% de PROPLEX T.
- b) 7.5: 7.5% de MOTIV, 7% de harina de pescado, 18% de harina de ave, 21.5% de soya y 5% de PROPLEX T.
- c) 12.5: 12.5% de MOTIV, 7% de harina de pescado, 18% de harina de ave, 11.5% de soya y 5.5% de PROPLEX T.
- d) 15: 15% de MOTIV, 7.5% de harina de pescado, 18% de harina de ave, 0% de soya y 8.5% de PROPLEX T.

**Cuadro 1.** Formulación teórica de cuatro tratamientos experimentales con inclusión de proteína de maíz fermentado (MOTIV) en diferentes porcentajes.

INGREDIENTES	Niveles de inclusión de ingredientes en la formulación (%)			
	Control	T7.5	T12.5	T15
Harina de pescado 65% <sup>*a</sup>	7	7	7	7.5
Harina de ave 65% <sup>*b</sup>	18	18	18	18
<b>MOTIV 69%<sup>*c</sup></b>	<b>0</b>	<b>7.5</b>	<b>12.5</b>	<b>15</b>
<b>Soya 45%<sup>*e</sup></b>	<b>35</b>	<b>21.5</b>	<b>11.5</b>	<b>0</b>
PROPLEX T 74% <sup>*d</sup>	5	5	5.5	8.5
Harina blanca de trigo 10% <sup>*f</sup>	26.04	32.04	36.54	42.04
Rovimix (mezcla vitaminas y minerales) <sup>g</sup>	3	3	3	3
Stay C <sup>h</sup>	0.5	0.5	0.5	0.5
Fosfolípidos <sup>i</sup>	1	1	1	1
Colesterol <sup>j</sup>	0.3	0.3	0.3	0.3
Nature-DHA 17% <sup>k</sup>	4	4	4	4
benzoato de sodio <sup>l</sup>	0.1	0.1	0.1	0.1
BHT <sup>m</sup>	0.05	0.05	0.05	0.05
LuctaMax <sup>n</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Composición proximal (% de peso seco constante)</b>				
Proteína cruda	39.90	39.70	41.45	39.95
Lípidos crudos	7.80	8.20	7.30	7.10
Cenizas	8.30	8.05	7.65	6.90
Humedad	5.25	7.50	8.40	8.70
ELN	44.00	43.40	43.60	46.10

<sup>a</sup> Procesador del mar de Ensenada S de R. L. de CV. Scoular de México S. de R.L. de C.V. (b). Producción local por pedido (c). Cargill Starches, Sweeteners and Texturizers, Cargill, Inc., Blair, NE, USA (d). COLPAC (e)COLPAC. (f). Progel Mexicana S.A. de C.V., León, Guanajuato, México (g). INGREDION México S.A. de C.V. (h). ADM México (i). DSM Nutritional Products México, S.A. de C.V (j). Mitsui y Co, LTD. (k). ADM, México (l). Interquímica SA de CV, Atizapán de Zaragoza, México (m). Comercializador Costa bella S. de R.L. de C.V., Ensenada BC, México (n). LUCTA S.A.

Los tratamientos se refieren a 0 (Control), 7.5 (T7.5), 12.5 (T12.5) y 15 % (T15) de inclusión de proteína de maíz fermentado (PMF, MOTIV).

**Cuadro 2.** Composición de los ácidos grasos presentes en los tratamientos (% del total de ácidos grasos).

Ácido Graso	Tratamientos			
	Control	T7.5	T12.5	T15
12:0	1.59	0	0	0
14:0	6.52	5.30	5.87	6.14
15	0.82	0.70	0	0.46
16	16.72	14.67	19.77	20.38
17	0	0	0.61	0.54
18	4.04	4.30	4.64	5.14
20	1.17	0	1.23	0
21	5.22	5.77	6.38	5.89
<b>∑SFA</b>	<b>36.08</b>	<b>30.74</b>	<b>38.50</b>	<b>38.55</b>
16:1	5.38	5.52	5.72	5.75
17:1	0.84	1.00	0.74	0.81
18:1n9	17.55	15.16	18.66	18.88
20:1n9	3.73	3.10	3.07	2.44
22:1n9	4.78	4.61	4.04	3.86
<b>∑MUFA</b>	<b>32.28</b>	<b>29.39</b>	<b>32.23</b>	<b>31.74</b>
18:2n6	9.57	10.44	12.34	13.00
18:3n6	1.64	2.46	2.01	1.79
20:3n6	0	0	1.00	0
20:4n6	1.64	2.16	1.41	1.43
<b>∑PUFAn6</b>	<b>12.85</b>	<b>15.06</b>	<b>16.76</b>	<b>16.22</b>
18:3n3	0	1.04	0.72	0
20:3n3	1.47	0	0	1.02
20:5n3	1.57	1.62	1.61	1.11
22:6n3	6.28	6.96	7.77	7.07
<b>∑PUFAn3</b>	<b>9.62</b>	<b>9.32</b>	<b>10.10</b>	<b>9.20</b>
<b>∑PUFA</b>	<b>22.47</b>	<b>24.38</b>	<b>26.86</b>	<b>25.42</b>
<b>Otros</b>	<b>9.02</b>	<b>11.14</b>	<b>2.37</b>	<b>4.23</b>

∑SFA (sumatoria de ácidos grasos saturados), ∑MUFA (sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados), ∑PUFAn6 (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados Omega-6), ∑PUFAn3 (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados Omega-3), ∑PUFA (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados totales) T7.5= % de inclusión de MOTIV, T12.5= de inclusión de MOTIV, T15= de inclusión de MOTIV.

Los ácidos grasos de las distintas dietas (Cuadro 2) contienen una mayor cantidad de ácido palmítico (C16) y de ácido oleico (C18:1n9) en todos los tratamientos. El mayor valor del ácido palmítico (C16) se presenta en el T15 con 20.4%, el menor valor se presenta en el T7.5 con un valor de 14.7%. Por su parte, el ácido oleico (C18:1n9) presenta su valor superior en el T15 con 18.9% en comparación con el menor valor, en el T7.5, con un valor de 15.2%. A su vez, los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) como los omega 3 (C20:5n3 y C22:6n3) y los omega 6 (C20:4n6) presentan distintos valores entre los tratamientos. El ácido eicosapentaenoico o EPA (C20:5n3) tiene valores cercanos entre los tratamientos T7.5 y T12.5, con valores oscilando de 1.6%, sin embargo, el T15 presenta un valor de 1.1%. Por otra parte, el ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6n3) se presenta en mayor proporción en el T12.5 con 7.8%, el T15 y el T7.5, ambos con 7%, y, en menor proporción, en el Control con 6.3%. El ácido araquidónico (ARA, C20:4n6) presenta el valor más alto en el T7.5 con 2.2%, mientras que, en los tratamientos, T12.5 y T15 los valores son inferiores con 1.6%, 1.4% y 1.4%, respectivamente. En todos los ácidos grasos no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ).

Los ácidos grasos saturados (SFA) se presentan en mayor proporción en los tratamientos. El mayor valor de ellos se presenta en el T15 con 38.6%, seguido por el T12.5 con 38.5%, mientras que en el Control y T7.5 se presentan valores de 36.1% y 30.7%, correspondientemente. Los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) se presentan en proporciones similares en todos los tratamientos con 32.3%, 29.4%, 32.2% y 31.7% en los tratamientos Control, T7.5, T12.5 y T15, correspondientemente. Por su parte, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) se presentan en mayor proporción en los tratamientos T12.5 y T15 con 26.9% y 25.4% correspondientemente. Mientras que las proporciones inferiores se presentan en los tratamientos Control y T7.5 con 22.5% y 24.4%, correspondientemente.

**Cuadro 3.** Porcentaje (%) total aminoácidos en los tratamientos de MOTIV, calculados a partir de la composición de los ingredientes para cada tratamiento.

Aminoácido (%)	Tratamientos			
	Control	T7.5	T12.5	T15
Arginina	1.37	1.31	1.25	1.28
Histidina	0.52	0.53	0.52	0.54
Isoleucina	0.84	0.86	0.87	0.93
Leucina	1.50	1.83	2.04	2.25
Valina	1.03	1.06	1.07	1.15
Lisina	1.21	1.20	1.18	1.24
Metionina	0.38	0.43	0.46	0.52
Fenilalanina	0.83	0.92	0.96	1.02
Treonina	0.83	0.90	0.94	1.04
Triptófano	0.20	0.18	0.17	0.17
<b>∑EAA</b>	9.42	10.00	10.29	10.97
Prolina	0.99	0.86	0.77	0.62
Acido glutámico	3.39	2.78	2.31	1.77
Cisteína	0.22	0.18	0.15	0.12
Glicina	1.47	1.84	2.08	2.15
Tirosina	0.49	0.39	0.32	0.24
Serina	0.98	0.93	0.88	0.76
Alanina	1.53	1.34	1.19	1.01
Taurina	0.02	0.02	0.02	0.02
Aspartato	1.00	1.12	1.20	1.27
<b>∑NEAA</b>	10.09	9.46	8.92	7.96

Tratamientos: Control, Tratamiento 7.5, Tratamiento 12.5 y Tratamiento 15.

Nota: los aminoácidos se evaluaron teóricamente. **∑EAA**: sumatoria de ácidos grasos esenciales (EAA por sus siglas en inglés). **∑NEAA**: sumatoria de ácidos grasos no esenciales (NEAA por sus siglas en inglés).

El perfil de amino aminoácidos teórico se presenta en el Cuadro 3, en donde se puede observar que los aminoácidos no deberían de haber mostrado cambios mayores.

#### **4.1.1. Proceso de extrusión**

Los alimentos fueron elaborados mediante un proceso de extrusión utilizando un equipo piloto comercial (EXTRUTECH E325 <sup>TM</sup>). El proceso de la elaboración de los alimentos se dividió en distintas etapas hasta llegar al producto final. A continuación, se describen los procesos llevados a cabo.

##### 1) Cernido, molienda y preparación de las harinas (mezcla)

Al llegar las materias primas al laboratorio, se molieron en un molino pulverizador todas aquellas que llegaron con una molienda gruesa, posteriormente se pesaron y se mezclaron de acuerdo con la formulación establecida para cada tratamiento, obteniendo una mezcla de harinas. A continuación, estas mezclas se tamizaron en un cernidor marca Kemutec, hasta que se encontraran los suficientemente granuladas para pasar por el extrusor.

##### 2) Extrusión

Se agregaron al extrusor las mezclas de harinas y se añadió agua y vapor. A continuación, las mezclas pasaron a un equipo adjunto al extrusor a una velocidad del motor de 339 revoluciones por minuto (RPM), el cual contiene una serie de navajas que van cortando los alimentos hasta obtener los extruidos. Los alimentos ya extruidos

salieron a una temperatura de 60.9°C y se transportaron al horno secador por medio de una banda elevadora para su posterior secado.

### 3) Secado

El alimento extruido paso por un secador de alimentos (Extrutech modelo 4800) a una temperatura de 150°C hasta llegar a una humedad de 19% así obteniendo un alimento crujiente y con una mayor vida de anaquel.

### 4) Enfriado

Las dietas después de secarse, se enfriaron en un enfriador vertical (Extrutech) para evitar la generación de microorganismos por condensación de humedad a la hora de ser almacenados.

### 5) Almacenamiento.

Una vez enfriadas las dietas experimentales, se pesaron y se almacenaron para su posterior uso en el bioensayo.

## 4.2. Diseño experimental y alimentación

Se acondicionaron 12 estanques de un volumen de 500 L cada uno, los cuales estuvieron conectados a través de un sistema de recirculación acuícola (RAS) en condiciones controladas para el óptimo crecimiento del camarón. La aireación de cada tanque se suministró a través de piedras de aireación. Se distribuyeron aleatoriamente 18 camarones (*Litopenaeus vannamei*) por estanque con un peso promedio de 0.5 g. Los organismos fueron suministrados por el laboratorio AJIMAR, ubicado en Mazatlán, Sinaloa. Las dietas fueron distribuidas aleatoriamente en los 12 estanques por triplicado: Control (0% MOTIV), T7.5 (7.5% MOTIV), T12.5 (12.5% MOTIV) y T15 (15% MOTIV) en sustitución total de la soya. Los organismos fueron alimentados con una ración equivalente al 10-12% de su peso corporal, racionado 4 veces al día (8:00, 11:00, 14:00 y 17:00), por un periodo de 60 días.

### **4.3. Parámetros fisicoquímicos y calidad del agua**

Los niveles de los distintos parámetros de importancia (oxígeno, salinidad y temperatura) de los estanques se midieron diariamente con un multiparámetro (YSI-55, YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA). Mientras que los niveles de nitritos y amonio se midieron dos veces por semana (API Tests Kits, Mars Fishcare Inc., Chalfont, PA, USA). La temperatura se mantuvo a 28 °C utilizando una resistencia de Titanio de 6,000 KW y con un sensor de temperatura. La salinidad de 34-35 ppt y niveles de oxígeno disuelto de 6-8 mg L<sup>-1</sup> se mantuvieron gracias a un aporte de agua de mar para reponer el perdido por los retro lavados. Se utilizaron piedras de aireación en cada estanque, para mantener los niveles de aeración óptimos.

### **4.4. Mantenimiento del sistema de recirculación**

Se realizaron retro lavados a los sistemas de circulación (RAS) dos veces por semana para evitar un incremento en los niveles de amonio y nitritos, los cuales pudieran poner en riesgo la integridad de los camarones. Además, se realizaron lavados de los filtros de calcetín por donde pasa el agua proveniente de mar, se realizó cada semana con el uso de una esparcidora de agua a presión. Por último, se sifonearon los estanques cuando se necesario para remover heces y partículas suspendidas no deseadas.

### **4.5. Composición proximal de dietas experimentales**

Todos los tratamientos experimentales y muestras de tejido se analizaron por triplicado para obtener la composición proximal de acuerdo con las técnicas oficiales de la AOAC (1990). La humedad (%) y cenizas (%) se determinaron

gravimétricamente secando muestras molidas a 60 °C durante 24 h y calentando la muestra molida en un horno de mufla a 550 °C durante 6 h, respectivamente. Para la determinación del porcentaje de humedad y cenizas, se realizó mediante diferencia de peso.

La proteína cruda (PC %) se midió por el método de Kjeldahl (KJELDATHERM®). En matraces Kjeldahl de 30 mL, se agregaron 2 g de sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), 40 mg de sulfato pentahidratado ( $CuSO_4$ ) y 50 mg de muestra seca. Posteriormente, se colocaron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. Los matraces se colocaron en las parrillas del digestor y se calentaron gradualmente (incrementando  $\frac{1}{2}$  unidad cada 15 minutos hasta llegar a 6.5 u.) hasta que la muestra haya estado totalmente digerida. Una vez terminado el proceso de digestión, las muestras se transfirieron a un matraz de aforación de 25 mL y se aforaron con agua destilada. Una vez aforada, la muestra se regresó al matraz Kjeldahl, se repitió el mismo procedimiento para todos los triplicados y se almacenaron para después ser destiladas.

Para la destilación de las muestras, en un vaso de precipitado se agregaron 15 mL de ácido bórico al 3% y 5 gotas de indicador Shiro Toshiro y se colocaron en la salida del condensador. En el destilador, se agregaron 5 mL de muestra, 10 mL de hidróxido de sodio al 40% y 10 mL de agua destilada para enjuagar la cámara y se comenzó la destilación aumentando gradualmente la temperatura hasta obtener ebullición constante. Una vez que el volumen del vaso precipitado llegó a 50 mL, se apagó el aparato y se abrió la válvula derecha. La solución se tituló con ácido clorhídrico al 0.02 N y el porcentaje de proteínas (%) se obtuvo de acuerdo con la AOAC (1990) con un factor establecido de 6.25.

La extracción de grasa cruda (GC) se realizó siguiendo el método Soxhlet, usando 2 g de muestra seca dentro de cartuchos de papel filtro Whatman®. Se colocaron en tubos de sifón para la extracción, mientras que en un matraz de destilación previamente pesado y rotulado se agregaron 100 mL de éter de petróleo

(solvente que es utilizado para la extracción de compuestos no volátiles, de baja solubilidad), por un lapso de 4 h. Una vez terminado el proceso de extracción, el matraz con el contenido lipídico se colocó en el desecador por 24 h para evaporar el resto del solvente, finalmente se pesó el matraz con la muestra para obtener el porcentaje (%) de grasa cruda por diferencia (AOAC, 2015).

#### **4.6. Crecimiento, recolección de muestras y análisis**

Al concluir con el tiempo de la fase experimental de alimentación con los tratamientos elaborados, se sacaron de los estanques todos aquellos organismos que hayan sobrevivido y se pesaron con una balanza digital. A todos estos organismos se le realizaron los siguientes análisis para evaluar el rendimiento productivo:

##### **1. Tasa de Crecimiento Específico (TCE)**

$$TCE = \left( \frac{\ln \text{Peso final} - \ln \text{Peso inicial}}{\text{Días}} \right) * 100$$

##### **2. Ganancia de peso (g)**

$$GP (g) = \text{Peso individual final} - \text{Peso individual inicial}$$

##### **3. Ganancia de peso en porcentaje (GP)**

$$\%GP = \left( \frac{\text{Promedio peso final} - \text{Promedio peso inicial}}{\text{Promedio peso inicial}} \right) * 100$$

##### **4. Factor de conversión alimenticia (FCA)**

$$FCA = \left( \frac{\text{Promedio consumo de alimento}}{\text{Promedio de peso ganado}} \right)$$

## 5. Índice hepatosomático

$$IHS = 100 * \left( \frac{\text{Peso del hepatopáncreas}}{\text{Peso total del organismo}} \right)$$

## 6. Supervivencia

$$Sob (\%) = \left( \frac{\text{Número final de organismos}}{\text{Número inicial de organismos}} \right) * 100$$

### 4.7. Digestibilidad aparente

Después de tres semanas de iniciar el experimento, se recolectaron heces diariamente de cada uno de los estanques para realizar la determinación de digestibilidad aparente. Posterior a cada alimentación, se realizó un sifoneo a los estanques y se filtró el agua con un tamiz de 350 micras para recolectar las heces fecales de los organismos. Una vez recolectadas, se enjuagaron con agua destilada, se centrifugaron, se colocaron en tubos Falcon™ y se conservaron a -18 °C.

Al finalizar, se determinó el contenido (%) de cenizas insolubles en ácido como marcador interno de las dietas experimentales recolectadas durante el experimento. Se realizó la metodología descrita por Tejada de Hernández (1992). Las heces se pesaron y se colocaron en cápsulas de porcelana dentro de un horno mufla y se calcinaron a 550 °C durante 6 h. Una vez terminado el proceso de calcinación, en vasos de precipitado se agregaron 25 mL de HCl 2 N y se colocaron las heces previamente calcinadas. Se taparon con un vidrio de reloj para evitar la evaporación y se dejaron en una plancha de calentamiento a 100° C hasta alcanzar su punto de ebullición. Se dejaron enfriar por cinco minutos y la muestra contenida en los vasos de precipitado se filtró utilizando filtros Whatman® de fibra de vidrio GF-F de 47 mm de diámetro y un matraz Kitasato conectado a una bomba de vacío. Se realizaron enjuagues con agua destilada caliente y posteriormente, el filtro se colocó en papel

de aluminio y se volvieron a calcinar en una mufla a 550 °C durante 6 h. Una vez calcinadas las muestras, se pesaron y se calculó la digestibilidad aparente según Tejada de Hernández (1992):

$$\%CI = \left( \frac{WA - WC}{DMW} \right) * 100$$

En donde:

*CI*: Cenizas insolubles en ácido

*WA*: Peso de cenizas (g)

*WC*: Peso de crisol (g)

*DMW*: Peso muestra seca

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

Donde:

*DA*: Digestibilidad aparente

#### **4.8. Análisis de ácidos grasos (dieta y hepatopáncreas)**

Para la extracción de ácidos grasos en dietas y tejidos, se siguió la metodología adaptada de Folch et al. (1957) utilizando diclorometano en lugar de cloroformo. Para la metilación se realizó siguiendo el método descrito por Castro-Gómez, et al. (2014). En el caso del hepatopáncreas, se siguió la metodología de

transmetilación descrita por Parrish, et al. (2014) utilizando como disolvente diclorometano y metanol. Una vez listos los ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAMEs), se analizaron mediante cromatografía de gases equipada con un detector de ionización de flama (Agilent GC 6880, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EEUU) en donde se utilizó nitrógeno como gas acarreador. Las condiciones de la columna GC (60 m x 0.25 mm con película de 0.25  $\mu\text{m}$  de espesor; Agilent 122- 2362 dB-23) fueron las siguientes: la temperatura inicial del horno fue de 50 °C durante 1 min, de 50 a 140 °C a 30 °C  $\text{min}^{-1}$ , manteniéndose a 140 °C durante 5 minutos, 140 a 240 °C a 4 °C  $\text{min}^{-1}$  y finalmente a 240 °C por 20 minutos. La temperatura del inyector se mantuvo de 230 °C a 260°C. Por último, los FAMEs se identificaron y cuantificaron comparando los tiempos de retención a partir de una mezcla estándar (mezcla de 37 componentes de FAME, Supelco/Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA).

#### **4.9. Química sanguínea**

Para química sanguínea, se siguió la metodología descrita por Del Río-Zaragoza et al. (2021) y Pintor et al. (2022). Todas las lecturas de absorbancia fueron leídas en un lector de microplacas (Multiskan GO, Thermo Scientific). A partir de la hemolinfa extraída, se analizó la proteína total utilizando el reactivo Biuret (Sigma-Aldrich) y se midió a 540 nm. La curva estándar se obtuvo utilizando albúmina de suero bovino (BSA) y se reportó como proteína equivalente a BSA. En cuanto a la glucosa, se determinó cuantitativamente con un kit (Valtek Diagnostics, Santiago de Chile) en el que la glucosa es oxidada a ácido glucónico y peróxido de hidrógeno por la glucosa oxidasa. Luego, el peróxido de hidrógeno reacciona con el ácido p-hidroxibenzoico y la 4-amino-antipirina, en presencia de la peroxidasa. El producto coloreado se midió en un espectrofotómetro (Thermo Scientific, Multiskan Go) a 505 nm. Los triglicéridos se estimaron tras la hidrólisis con una lipasa específica que produce ácidos grasos y glicerol. La enzima glicerol quinasa fosforila el glicerol, y el glicerol-1-fosfato es oxidado por la glicerol-fosfato oxidasa generando peróxido de

hidrógeno, que luego se determinará con 4-amino-antipirina y ácido 3,5-dicloro-2-hidroxi-bencensulfónico en presencia de peroxidasa y se medirá 520 nm. Por último, el colesterol se determinó mediante un método enzimático en el que el colesterol esterasa hidroliza el colesterol, y el colesterol libre es oxidado por el colesterol oxidasa produciendo peróxido de hidrógeno que se cuantificará mediante el sistema cromogénico que contiene ácido p-hidroxibenzoico y 4-aminoantipirina en presencia de peroxidasa y se medirá a 505 nm.

#### **4.10. Análisis estadístico**

Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa IBM SPSS Statistics V26.0.0 Copyright (IBM Corporation 1989, 2011, USA) utilizando una prueba de análisis de varianza (ANOVA) de dos vías con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ . En aquellos casos donde se encuentren diferencias significativas entre los tratamientos, se realizaron pruebas de Tukey o de Kruskal-Wallis, según sea el caso. Además, se realizaron regresiones cuadráticas entre tratamientos y variables significativas. Posteriormente se realizaron modelos de regresión de líneas discontinuas para demostrar el nivel de tratamiento óptimo de PMF (MOTIV) de la tasa de crecimiento específico (%/día) y la ganancia de peso (%).

## V. RESULTADOS

### 5.1. Desempeño productivo

El desempeño productivo de los camarones (Cuadro 4) demostró que no se encontraron diferencias entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). El peso individual de los camarones fue superior en el T7.5 y el T12.5 (3.2 g y 3.1 g respectivamente); mientras que los pesos inferiores se presentaron en la T15 y el Control con 2.6 g y 2.7 g, respectivamente. Con respecto a la ganancia de peso final con el peso inicial, se obtuvo una ganancia mayor en los T7.5 y T12.2 con 2.7 g y 2.5 g, respectivamente; los tratamientos con la menor ganancia de peso fueron el T15 y el control con 2.0 g y 2.1 g, respectivamente. Estas ganancias de peso obtenidas se reflejan en un porcentaje mayor de peso ganado en los tratamientos T7.5 y T15 con 483% y 454%; mientras que los menores se observaron en el T15 y el control con 387% y 374%, respectivamente.

En la tasa de crecimiento específico (TCE), los tratamientos 7.5 y 12.5 presentaron una mejor TCE con 3% y 2.9% de crecimiento por día de los camarones alimentados con estos tratamientos, respectivamente. Mientras que los tratamientos control y 15 presentaron porcentajes menores de crecimiento por día, con valores de 2.7% y 2.62%, respectivamente.

El T 7.5 presentó un factor de conversión alimenticia (FCA) menor con 2.0, seguidos de los T12.5, T15 y control con valores de 2.1, 2.4 y 2.7, respectivamente. Comparados con los valores de FCA de los tratamientos, la cantidad de consumo de alimento (CA) solo es equivalente en la dieta 7.5, donde se obtuvo un valor inferior en el FCA y en el CA, con 11.0%/ día. Mientras tanto, los camarones alimentados con los tratamientos control y 12.5 presentaron valores de CA similares con 12.0 y 12.3%/ día. A pesar de esto, los valores FCA son altos entre uno y otro (2.7 en el Control y 2.1 en el T12.5). Por su parte, el T15 tuvo el menor CA entro todos los tratamientos con 10.3%/ día. Con relación a los índices hepatosomáticos (HSI), los tratamientos 12.5, 7.5 y control demostraron tener un IHS superior con 4.7, 4.6 y 4.5

g/100g de organismo, respectivamente. Por su parte el menor IHS se presentó en el T15 con 4.1 g/100g organismo. Por último, en cuanto a la supervivencia final de los camarones durante el bioensayo, se pudo observar que la mejor supervivencia fue en el T15 con un 100%, mientras que la menor fue en el T12.5 con 81.5%.

**Cuadro 4.** Datos de rendimiento productivo de los camarones *L. vannamei* alimentados con diferentes sustituciones de PMF por harina de soya después de 60 días de tratamiento.

Parámetro	Tratamientos				Valor <i>p</i>
	Control	T7.5	T12.5	T15	
Peso individual final (g)	2.68 ± 0.46	3.21 ± 0.28	3.06 ± 0.36	2.60 ± 0.41	0.218
Ganancia de peso (g)	2.13 ± 0.46	2.66 ± 0.29	2.51 ± 0.35	2.05 ± 0.41	0.259
Porcentaje de peso ganado (%)	387.15 ± 83.0	483.84 ± 58.2	454.61 ± 60.6	374.61 ± 74.4	0.347
Tasa de crecimiento específico (TCE) (%/día)	2.66 ± 0.30	2.98 ± 0.167	2.89 ± 0.18	2.62 ± 0.25	0.347
Factor de conversión alimenticia (FCA)	2.66 ± 0.27	2.02 ± 0.15	2.08 ± 0.39	2.37 ± 0.45	0.392
Consumo de alimento (%/día) (CA)	12.04 ± 2.90	11.04 ± 1.65	12.33 ± 2.25	10.27 ± 0.67	0.459
Índice hepatosomático (g/100g org) (IHS)	4.47 ± 0.72	4.64 ± 0.71	4.74 ± 1.05	4.13 ± 0.69	0.322
Sobrevivencia (%)	88.9 ± 19.2	88.9 ± 11.1	81.5 ± 17.0	100 ± 0	0.485

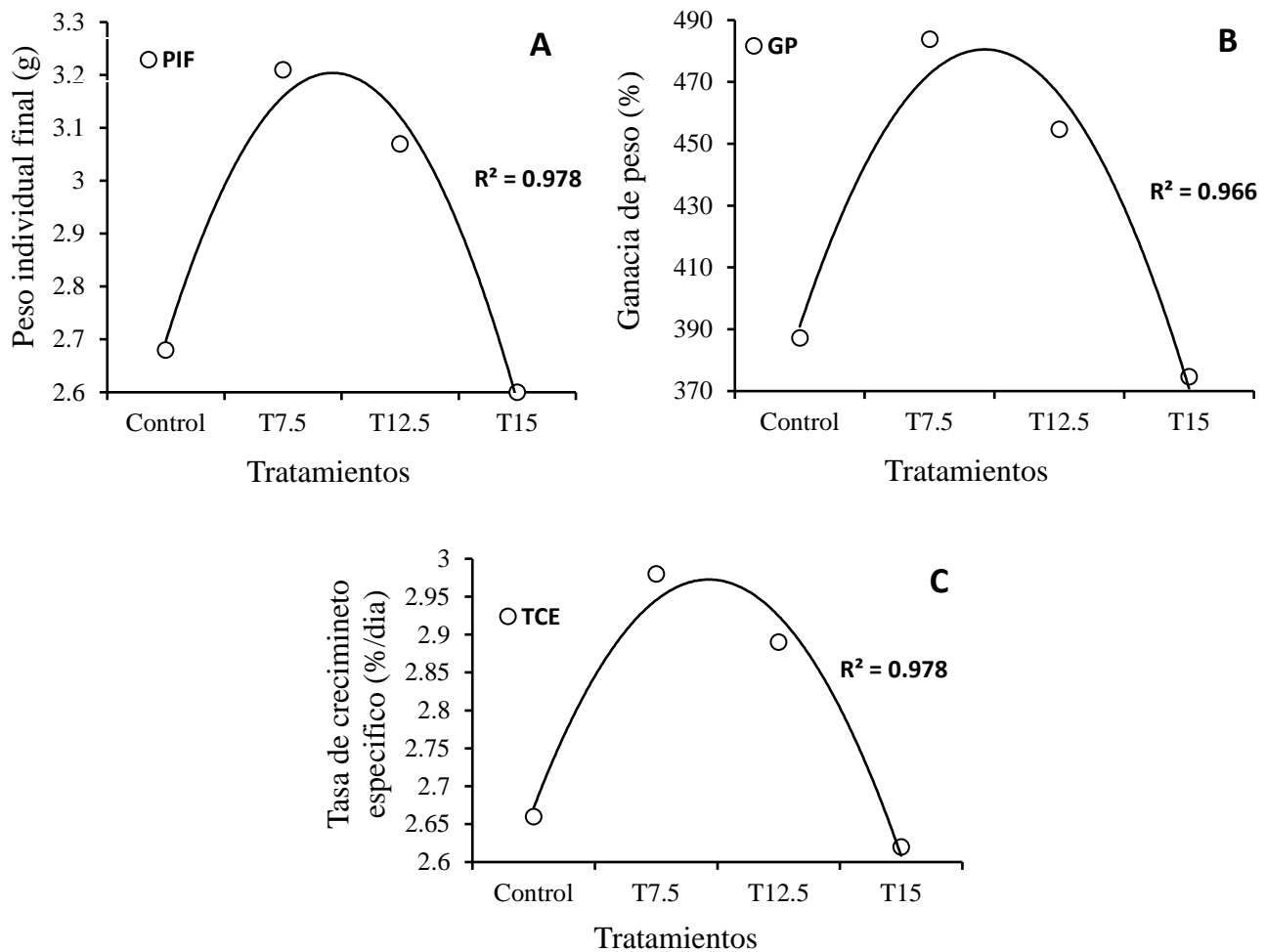
Los resultados son presentados por su media + error de desviación estándar (n=3)

TCE: Tasa de crecimiento específico, FCA: Factor de conversión alimenticia, CA: Consumo de alimento, IHS: Índice hepatosomático. Tratamientos: Control (0% MOTIV), T7.5 (7.5% MOTIV), T12.5 (12.5% MOTIV), T15 (15% MOTIV).

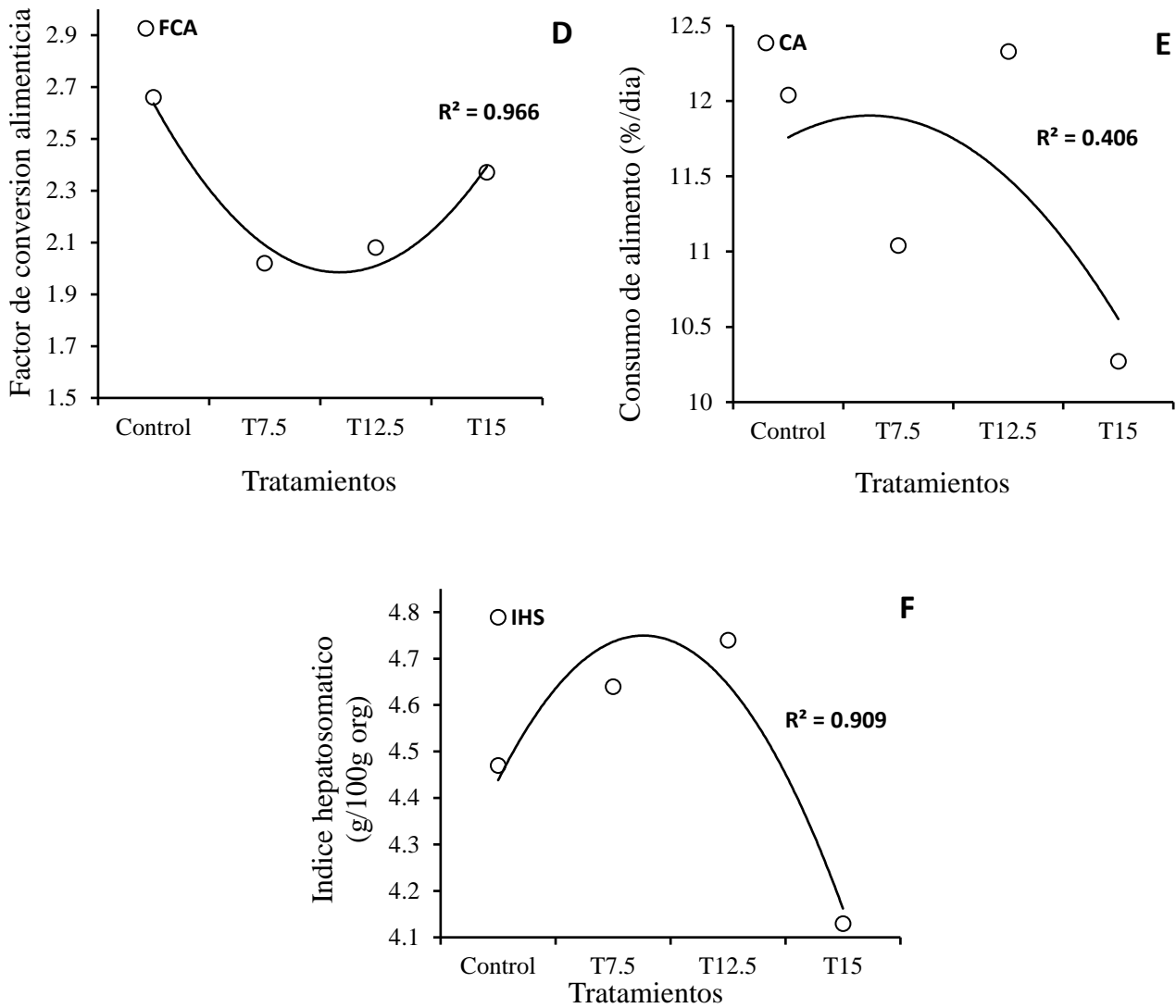
Se realizaron análisis de regresiones cuadráticas para poder observar la correlación entre los índices biológicos y los tratamientos. Se puede observar (Figura 1) que hay una correlación positiva alta entre el PMF en el peso final (g) ( $R^2 = 0.976$ ), la ganancia de peso (%) ( $R^2 = 0.966$ ), el factor de conversión alimenticia ( $R^2 = 0.967$ ), la tasa de crecimiento específico ( $R^2 = 0.974$ ) y el índice hepatosomático ( $R^2 = 0.909$ ). Sin embargo, en el caso del alimento consumido (Figura 2), se pudo observar una correlación baja ( $R^2 = 0.406$ ).

De igual manera se realizaron análisis de líneas discontinuas para determinar a qué niveles de inclusión de MOTIV se vería una mayor ganancia de peso y un mayor TCE. En el caso del TCE (tasa de crecimiento específico) se determinó un punto de inflexión en las pendientes a una inclusión de MOTIV de 10.6% en donde se esperaría un TCE mayor de 3.1 (Figura 2). La gráfica también indica que a mayor inclusión de MOTIV los tratamientos son menos efectivos, ya que muestran una reducción en la TCE.

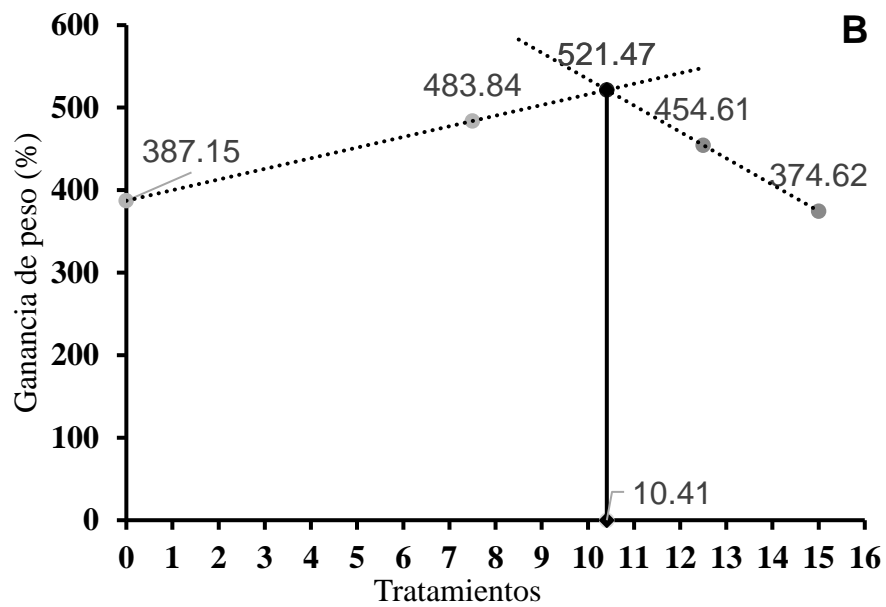
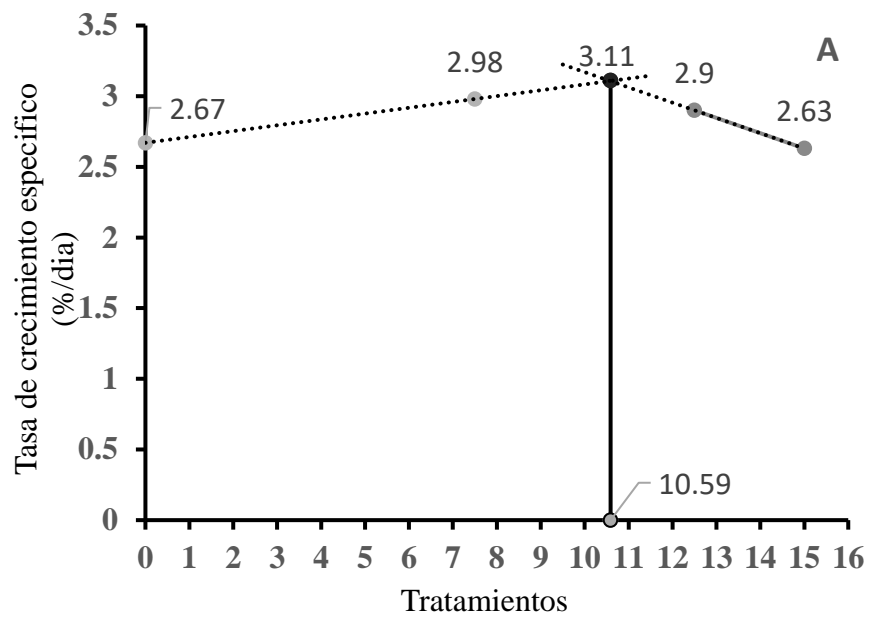
En el caso de la ganancia total de peso (%), las pendientes marcan que el punto de inflexión es en una inclusión de 10.4% de MOTIV, en donde se esperaría una mayor ganancia del peso total. Aquí también se demuestra un rendimiento negativo en la ganancia total de peso a mayores niveles de inclusión de MOTIV (Figura 3).



**Figura 1.** Análisis de regresión cuadrática entre los niveles de inclusión de PMF en los distintos tratamientos y los parámetros de rendimiento. Como lo son peso individual final (g) (A), la ganancia de peso (%) (B), la tasa de crecimiento específico (%/día). El círculo (◦) indica los valores marcados en el cuadro 4. Las líneas indican las ecuaciones de regresión cuadrática de mejor ajuste. Tratamientos: Control, Tratamiento 7.5, Tratamiento 12.5 y Tratamiento 15.



**Figura 2.** Análisis de regresión cuadrática entre los niveles de inclusión de PMF en los distintos tratamientos y los parámetros de rendimiento. Como lo son el factor de conversión alimenticia (D), el consumo de alimento (%/día) y el índice hepatosomático (g/100g org) (F). El círculo (◦) indica los valores marcados en el Cuadro 4. Las líneas indican las ecuaciones de regresión cuadrática de mejor ajuste. Tratamientos: Control, Tratamiento 7.5, Tratamiento 12.5 y Tratamiento 15.



**Figura 3.** Modelo de regresión de líneas discontinuas que muestran el nivel de tratamiento óptimo de PMF (MOTIV) utilizando los datos de tasa de crecimiento específico (%/día) (A) y ganancia de peso (%) (B).

## 5.2. Composición proximal del músculo y el hepatopáncreas.

Al finalizar el bioensayo de 60 días, se analizaron los proximales de los músculos y hepatopáncreas de los camarones *L. vannamei*. En el Cuadro 5 se observan los proximales realizados en los músculos, en donde los valores de humedad no tuvieron diferencia entre los distintos tratamientos, con porcentajes oscilando entre 73.7% y 74.0%, en donde el valor más bajo se observó en el T12.5 y el mayor en el T15. No se observaron diferencias entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ) con un valor de  $p = 0.886$ . En el caso de la grasa cruda, la dieta T12.5 presentó un porcentaje mayor con 3.1%, comparados con los otros tratamientos en los cuales se observaron valores similares oscilando entre 2.4% y 2.8%, donde el T15 presentó el menor porcentaje. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ) con un valor de  $p = 0.365$ . Por último, los porcentajes de proteína cruda fueron mayores en los tratamientos T15 y T12.5 con 74.1% y 76.6%, respectivamente. Mientras que los valores más bajos se observaron en la dieta control y T7.5 con 73.0% y 73.3%, respectivamente. No se observaron diferencias entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ) con un valor de  $p = 0.484$ . Debido a la escasez del material biológico no se analizaron cenizas.

En el caso de los proximales de los hepatopáncreas de camarones, en el Cuadro 6 se puede observar que la humedad fue similar entre los cuatro tratamientos con porcentajes entre 73.7% y 74.0%, en donde el menor valor se presentó en el T7.5 y el mayor en el T15, sin diferencias entre los tratamientos ( $p = 0.487$ ). Por su parte, la grasa cruda presentó un crecimiento exponencial desde el tratamiento control hasta el T12.5, con valores de 14.3%, 17.0% y 18.2%, respectivamente. Sin embargo, en el T15 el porcentaje de proteína decrece con 16.4%. a pesar de lo anterior mencionado no se observaron diferencias entre los tratamientos ( $p = 0.682$ ). Debido a la escasez del material biológico no se analizaron cenizas ni proteínas.

**Cuadro 5.** Composición proximal del músculo de camarón *Litopenaeus vannamei* alimentado durante 60 días con dietas formuladas con cuatro niveles de maíz fermentado (PMF, por sus siglas en inglés).

Proximales	Tratamientos				Valor <i>p</i>
	Control	T7.5	T12.5	T15	
Humedad (%)	73.9 ± 0.6	73.9 ± 0.2	73.7 ± 0.3	74.0 ± 0.4	0.886
Grasa cruda*	2.75 ± 0.3	2.4 ± 0.5	3.1 ± 0.8	2.4 ± 0.4	0.365
Proteína cruda*	72.9 ± 3.1	73.3 ± 4.1	76.62 ± 2.6	74.13 ± 1.9	0.484

\*Peso seco constante

Los resultados se presentan por su media ± desviación estándar (n=3).

**Cuadro 6.** Composición proximal del hepatopáncreas de camarón *L. vannamei* alimentado durante 60 días con dietas formuladas con cuatro niveles de Maíz fermentado (PMF, por sus siglas en inglés).

Proximales	Tratamientos				Valor <i>p</i>
	Control	T7.5	T12.5	T15	
Humedad (%)	68.11 ± 1.37	64.59 ± 2.97	66.97 ± 2.50	65.45 ± 4.00	0.487
Grasa cruda (%)	14.27 ± 0.14	17.00 ± 5.46	18.21 ± 4.22	16.41 ± 3.94	0.682

Los resultados son presentados por la media + desviación estándar (n=3)

### 5.3. Ácidos grasos en el hepatopáncreas

Después de los análisis de ácidos grasos de los hepatopáncreas (Cuadro 7) se observó una mayor cantidad de ácido palmítico (C16) y de ácido oleico (C18:1n9) en todos los tratamientos. Los valores del ácido palmítico (C16) tuvieron un crecimiento exponencial con de acuerdo con el porcentaje de inclusión del maíz fermentado en las dietas. Los valores fueron de 18.2% en el Control y 23.7% en el T15. Por su parte, el ácido oleico (C18:1n9) presentó valores muy similares entre los tratamientos T7.5, T12.5 y T15 con 29.2%, 29.0% y 29.3%, respectivamente en comparación con el valor más bajo, encontrada en el Control, con un valor de 25.0%. A su vez, los ácidos grasos de importancia como los omega 3 (C20:5n3 y C22:6n3) y los omega 6 (C20:4n6) se encontraron con distintos valores entre los tratamientos. El ácido eicosapentaenoico o EPA (C20:5n3) presentó un mayor porcentaje en el Control con 1.4%, mientras que en los tratamientos T7.5 y T15 los valores fueron similares con 0.5% y 0.6%, respectivamente. Por último, el menor valor se encontró en el T12.5 con 0.4%. Por otra parte, el ácido docosahexaenoico ó DHA (C22:6n3) decreció exponencialmente desde el Control hasta el T15 con 8.3, 7.3, 6.6 y 6.4%, respectivamente. Por último, el ácido araquidónico o ARA (C20:4n6) presentó el mayor valor en el tratamiento Control con 2.1%, mientras que en los tratamientos T7.5, T12.5 y 15 los valores fueron inferiores con 1.3, 1.2 y 1.2%, respectivamente. En todos los ácidos grasos no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ).

Los ácidos grasos saturados monoinsaturados (MUFA) se presentaron en mayor proporción en todos los tratamientos. Los valores fueron de 39.5, 40.6, 39.9 y 40.3% en los tratamientos Control, T7.5, T12.5 y T15, correspondientemente. Los ácidos grasos saturados (SFA) se presentaron en proporciones similares en los tratamientos T7.5, T12.5 y T15 con 35.1, 36.4 y 35.6%. Mientras que en el Control presentó un porcentaje menor con 30.8%. Por su parte, los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) se presentaron en mayor proporción en el tratamiento

Control con 27.2%, mientras que las proporciones inferiores se presentaron en los tratamientos T7.5, T12.5 y T15 con 23.0, 22.8 y 22.9%, respectivamente.

Se observó una mayor proporción de ácidos grasos no identificados en el tratamiento control con 2.4%. Mientras que los tratamientos T7.5, T12.5 y T15 presentaron valores similares con 1.1, 1.2 y 1.7%, respectivamente.

**Cuadro 7.** Composición de los ácidos grasos en los hepatopáncreas de los camarones blancos *L. vannamei*, alimentados con 4 tratamientos con diferentes niveles de inclusión de PMF durante 60 días (% del total de ácidos grasos).

Ácido Graso	Tratamientos				Valor <i>p</i>
	Control	T7.5	T12.5	T15	
14	1.63 ± 0.16	2.11 ± 0.18	2.43 ± 0.22	2.17 ± 0.01	0.112
16	18.16 ± 7.06	22.23 ± 0.59	22.93 ± 1.78	23.64 ± 0.99	0.572
17	0.60 ± 0.99	0.47 ± 0.05	0.50 ± 0.01	0.49 ± 0.03	0.212
18	4.44 ± 2.31	4.90 ± 0.43	5.26 ± 0.65	4.66 ± 0.22	0.881
20	0 ± 0	0.53 ± 0.04	0.51 ± 0.11	0.53 ± 0.05	0.256
21	6.00 ± 0.59	4.86 ± 0.73	4.75 ± 0.45	4.15 ± 0.14	0.112
<b>∑SFA</b>	<b>30.83</b>	<b>35.10</b>	<b>36.38</b>	<b>35.64</b>	<b>2.145</b>
16:1	3.15 ± 0.12	3.83 ± 0.24	3.81 ± 0.01	3.57 ± 0.01	0.112
17:1	0.72 ± 0.23	0.54 ± 0.01	0.60 ± 0.01	0.73 ± 0.02	0.198
18:1n9	24.96 ± 2.18	29.18 ± 1.14	28.98 ± 1.86	29.32 ± 0.18	0.208
20:1n9	5.71 ± 1.69	3.99 ± 0.39	3.48 ± 0.65	3.86 ± 0.61	0.212
22:1n9	4.95 ± 2.91	3.08 ± 0.01	3.00 ± 0.69	2.84 ± 0.35	0.841
<b>∑MUFA</b>	<b>39.49</b>	<b>40.62</b>	<b>39.87</b>	<b>40.32</b>	<b>1.571</b>
18:2n6	10.14 ± 0.93	11.18 ± 0.36	11.56 ± 0.10	11.13 ± 0.18	0.112
20:2	2.52 ± 0.89	1.39 ± 0.63	1.37 ± 0.18	1.45 ± 0.07	0.212
20:3n6	1.16 ± 0.89	0.52 ± 0.05	0.46 ± 0.08	0.52 ± 0.12	0.446
20:4n6	2.10 ± 0.93	1.28 ± 0.21	1.21 ± 0.20	1.20 ± 0.14	0.212
<b>∑PUFAn6</b>	<b>15.92</b>	<b>14.37</b>	<b>14.6</b>	<b>14.3</b>	<b>0.982</b>
18:3n3	1.63 ± 1.02	0.84 ± 0.02	0.89 ± 0.08	0.94 ± 0.07	0.280
20:5n3	1.37 ± 1.18	0.50 ± 0.08	0.44 ± 0.12	0.55 ± 0.13	0.418
22:6n3	8.27 ± 1.01	7.34 ± 0.41	6.55 ± 0.08	6.42 ± 0.28	0.139
<b>∑PUFAn3</b>	<b>11.27</b>	<b>8.68</b>	<b>7.88</b>	<b>7.91</b>	<b>0.837</b>
<b>∑PUFA's</b>	<b>27.19</b>	<b>23.05</b>	<b>22.48</b>	<b>22.21</b>	<b>1.121</b>
<b>Otros</b>	<b>2.37 ± 1.31</b>	<b>1.14 ± 0.01</b>	<b>1.17 ± 0.15</b>	<b>1.74 ± 0.17</b>	<b>0.149</b>

Los resultados son presentados por la media + desviación estándar (n=3). ∑SFA (sumatoria de ácidos grasos saturados), ∑MUFA (sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados), ∑PUFAn6 (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados Omega-6), ∑PUFAn3 (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados Omega-3), ∑PUFA (sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados totales) T7.5= % de inclusión de MOTIV, T12.5= de inclusión de MOTIV, T15= de inclusión de MOTIV.

#### 5.4. Digestibilidad aparente

No se observaron diferencias ( $p > 0.05$ ) entre la digestibilidad de los tratamientos de los camarones alimentados (Cuadro 8). Entre los tratamientos control, T7.5 y T15 se observaron porcentajes de digestibilidad similares con 80.3%, 81.0% y de 79.5%, respectivamente. Por su parte, el T15 presentó una menor digestibilidad con 65.5% (es importante mencionar que, debido a errores presentados durante el análisis de digestibilidad aparente, solo se tomó en cuenta un valor, por lo que este resultado pudiera ser erróneo).

**Cuadro 8.** Valores de digestibilidad aparente en materia seca (%) en los camarones blancos *L. vannamei* de los diferentes tratamientos.

	Tratamientos				Valor $p$
	Control	T7.5	T12.5	T15	
Digestibilidad Aparente de materia seca (%)	80.29 ± 0.30	81.02 ± 1.07	79.47 ± 3.84	No se realizó*	0.244

Los resultados son presentados por la media + desviación estándar (n=3)

(\*) Esto debido a errores presentados durante su análisis.

#### 5.5. Análisis bioquímico de la hemolinfa

Los resultados de los parámetros del análisis bioquímico de la hemolinfa de los camarones alimentados durante el bioensayo no tuvieron diferencias ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 9). Se observó mayor cantidad de colesterol en los tratamientos T12.5 y T7.5 con 36.1 y 29.7 mg dL<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que los tratamientos Control y T15 mostraron el menor valor con 23.4 y 19.6, respectivamente.

A su vez, se demostró que los valores de proteína fueron similares entre los tratamientos Control, T7.5 y T15 con 7.0, 7.2 y 7.1 (g dL<sup>-1</sup>), respectivamente. Mientras que en el tratamiento T12.5 se observó un valor inferior con 5.7(g dL<sup>-1</sup>). Por último, la glucosa se mostró en un valor mayor en el tratamiento T7.5 con 16.4 (mg dL<sup>-1</sup>), seguidos de los tratamientos T12.5, Control y T15 con 12.9, 10.9 y 10.4, respectivamente.

**Cuadro 9.** Análisis bioquímico en la hemolinfa de los camarones blancos *L. vannamei* alimentados con los distintos niveles de inclusión de PMF (MOTIV).

Parámetro	Tratamientos				Valor <i>p</i>
	Control	T7.5	T12.5	T15	
Colesterol (mg dL <sup>-1</sup> )	23.38 ± 7.53	29.76 ± 9.02	36.11 ± 40.41	19.60 ± 7.03	0.316
Proteína (g dL <sup>-1</sup> )	7.04 ± 1.32	7.27 ± 1.79	5.77 ± 2.69	7.08 ± 1.32	0.503
Glucosa (mg dL <sup>-1</sup> )	10.96 ± 2.28	16.38 ± 7.00	12.88 ± 4.82	10.44 ± 3.78	0.251

Los resultados son presentados por la media + y error de desviación estándar (n=3)

## VI. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se evaluó la inclusión de proteína de maíz fermentada (**PMF**, **Motiv™**) en la dieta para la producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). Con este objetivo, se elaboraron cuatro dietas con diferentes niveles de inclusión de **PMF** en sustitución de la harina de soya (45% de PC). Todas las dietas fueron formuladas isoproteicas e isolipídicas (Cuadro 1) con un contenido de alrededor del 40% de PC entre tratamientos. Sin embargo, sólo una dieta (T12.5) se obtuvo un 1.5% más de proteína. Si bien este diferencial del 1.5% pudiera haber influido en los resultados, en este caso, no observó una mejora en el desempeño. Por otro lado, la grasa cruda de los alimentos se mantuvo entre 7 y 8.2% diferencias que no se reflejaron en el crecimiento o composición proximal de los tejidos al finalizar el experimento (Cuadros 5,6). Akiyama et al. (1992) sugieren que la cantidad recomendada de lípidos para las dietas para camarones debe oscilar entre 6 y 8%, pero sin superar un 10%. Por lo que los valores de lípidos presentes en todos los tratamientos si cumplieron con lo recomendado para la especie.

Como parte del objetivo de esta tesis era el medir el efecto de la sustitución de harina de soya por **PMF**, en donde se utilizó PROPLEX-T sólo para ajustar la proteína requerida, ya que la soya contenía mucho menor cantidad de proteína que MOTIV. El PROPEX-T es un subproducto de la producción de treonina a partir de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Si bien, este se incrementó en 0.5, 0.5 y 3.5 en el último tratamiento, este podría ser la única causal de algún efecto sobre los tratamientos. Sin embargo, como se observa en los perfiles teóricos de AA, éstos presentan un comportamiento lineal por lo que no podrían haber influido en el desempeño.

Tanto la soya como el maíz aportan proteína vegetal en diferentes niveles, sin embargo, su naturaleza proteica es diferente, ya que la soya contiene factores antinutricionales como las lectinas, ácido fítico, glicinina, aglutinina de soya y la beta-conglicinina que pueden causar una inflamación intestinal impidiendo la absorción de nutrientes (Gemedede y Ratta, 2014; Mai et al., 2021). El maíz presenta inhibidores

de proteasa, ácido fólico, lectinas, polisacáridos sin almidón (NSP) y el ácido antinicotínico, sin embargo, en menor nivel que la soya (Gopan et al., 2020; Francis et al., 2001). Es así que entre ambas materias primas (soya y maíz), la soya podría ser el causal de mayores problemas digestivos, como la enteritis (inflamación del intestino) en los camarones (Chuchird et al., 2022). Por lo anterior se ha hecho mucha investigación para mejorar dicha condición desarrollando una serie de productos como el aislado de soya o fermentado de soya, procesos que de alguna manera elevan su costo de producción.

Si bien el maíz no es el causante de una enteritis severa, el producto aquí presentado (MOTIV) que es un maíz fermentado y que promete un mejor desempeño. En este trabajo mostró una mejoría, pero sólo a una dosis baja. En este trabajo se compara al maíz fermentado contra una soya sin tratar, la cual ha demostrado provocar estos efectos antinutricionales en estudios previos de este laboratorio del IIO (Viana et al., 2019). Los resultados aquí observados, después de 60 días de alimentación, la adición de **PMF** tuvo un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento en *L. vannamei* frente al uso de harina de soya, sólo hasta en un 10.6% de inclusión de acuerdo con el modelo de regresión de líneas discontinuas” (Figura 2A). Mientras que otros resultados en donde se compara la sustitución de harina de gluten de maíz por MOTIV coinciden que inclusiones mayores a 12% de PMF resultaron en un rendimiento negativo (Novriadi et al., 2021).

Dichos resultados se debieron a que la ingesta del gluten de maíz pudo reducir la ingesta de alimento en camarones, limitando la digestibilidad de proteínas y de aminoácidos (específicamente por la menor cantidad de arginina y lisina) (Lemos et al., 2009).

En términos generales, el maíz fermentado (**PMF**) no pudo mejorar del todo a la harina de soya (45%PC), por lo que su aplicación dependerá de los costos de ambas harinas. Sin embargo, el hecho de que la **PMF** no hubiera mejorado el desempeño de los camarones a un nivel mayor del 10.5% de sustitución, pudiera estar relacionado con un proceso de digestibilidad, y no de un desbalance en

aminoácidos esenciales como la lisina, ya que esta disminuyó de 1.37 a 1.28% (Cuadro 3). Por otro lado, los resultados de digestibilidad aparente en materia seca (Cuadro 9), ya que los tres tratamientos analizados tuvieron una respuesta lineal sin cambios. A pesar de que el último tratamiento no haya podido realizarse el análisis de digestibilidad aparente en materia seca, no se hubiera esperado un gran cambio de acuerdo a la tendencia de los anteriores que estaban alrededor del 80%.

Entonces, haciendo una comparación entre el uso de la harina de soya y la proteína de maíz fermentado en la alimentación para camarón, la combinación de ambos en un 10.4% de MOTIV con 20% de harina de soya existe una ligera mejoría, pero más que esto (tratamiento T15) resultó en crecimientos similares ya sea pura harina de soya, o puro MOTIV (35% vs. 15%, con soya y MOTIV, respectivamente), resultados que no eran como se había esperado.

Yu et al. (2013) compararon el uso de la soya contra el uso de concentrado de proteína de maíz sin fermentar, y no se observaron diferencias significativas en el rendimiento productivo de camarones en ninguno de los tratamientos, utilizando hasta 16% del concentrado de proteína de maíz. Sin embargo, en el tratamiento sin concentrado de maíz, se observó una reducción en la supervivencia. Esto indica que de alguna manera el maíz repercutió positivamente en una mejora en el crecimiento comparándola con la soya. De acuerdo con los estudios realizados por Novriadi et al. (2021), como se mencionó anteriormente, la fermentación si mejoró la calidad del maíz en el alimento para camarón. De tal manera que considerando los resultados de Yu et al. (2013) y los de Novriadi et al. (2021) la **PMF** debió ser mejor que la harina de soya utilizada en este trabajo, algo que no se cumplió. Estas diferencias podrían deberse a la variabilidad en la calidad de diferentes productos. Aquí se utilizó una harina de soya (Colpac) con 45% de proteína, que incluso puede ser utilizada para consumo humano, por lo que en este caso particular los beneficios de reemplazo no se observaron como se esperaba.

A pesar de que no se han realizado aun estudios de la comparación de fermento de soya con el fermento de maíz, existen otros estudios han evaluado el

uso de harina de soya fermentada en contra de la harina de pescado (Lin y Chen, 2022) en donde inclusiones mayores a 13% resultó ser deficiente en el rendimiento productivo del camarón. Este porcentaje resulta ser parecido al 12.5% de **PMF** usado en este experimento como inclusión límite antes de presentar deficiencias.

Sin embargo, en este trabajo se demostró que la **PMF** no superó la eficiencia de la soya natural, por lo que se intuye que esta (**PMF**) no podría superar en lo absoluto a la soya fermentada.

Ahora, sobre el índice hepatosomático (IHS), éste mostró valores óptimos en los tratamientos T7.5 (4.64) y T12.5 (4.74), comparables con experimentos ya reportados (Wang et al., 2020; Zheng et al., 2023), lo que sugiere un adecuado metabolismo hepático, aunque la ausencia de análisis histológicos limitó evaluar posibles impactos tisulares (Morales y Cuellar-Anjel, 2014),

Los indicadores de salud (proteína, glucosa, colesterol en hemolinfa) no mostraron diferencias significativas, aunque T7.5 presentó mayor glucosa (16.38 mg/dL) y T12.5 mayor colesterol (36.11 mg/dL), vinculado a procesos de muda (Mykles, 2011), en general se encuentran dentro los rangos normales. La homogeneidad en ácidos grasos reflejó el bajo contenido lipídico de **PMF**, mientras que la ausencia de histología hepática impidió descartar alteraciones, tomando en cuenta que el hepatopáncreas es el órgano central de la digestión (Roszer, 2014).

## VII. CONCLUSIONES

- La sustitución parcial de harina de soya por proteína de maíz fermentado (**PMF**) en la dieta del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) mejora el crecimiento y rendimiento hasta un 10.4%, mientras que su sustitución total por **PMF** no muestra diferencias significativas, lo que indica que un reemplazo moderado es más beneficioso que una sustitución completa.
- El factor de conversión alimenticia (FCA) mejora con una inclusión moderada de **PMF**.
- No se encontraron diferencias significativas de la digestibilidad aparente en materia seca entre los tratamientos (Control, T7.5, T12.5).
- Los análisis bioquímicos de la hemolinfa reflejan que la inclusión de **PMF** en los tratamientos no afecta la salud de los camarones.
- La composición proximal del músculo y el hepatopáncreas fue consistente entre los tratamientos.
- El uso de MOTIV en sustitución de la soya, dependerá de los precios en el mercado

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios histológicos para una evaluación de salud más profunda.

- Se recomienda realizar estudios comparativos entre MOTIV y otras fuentes proteína de soya fermentada.
- Se recomienda realizar estudios que permitan evaluar los costos-beneficios de la incorporación de MOTIV en las dietas acuícolas.
- Se recomienda realizar pruebas del uso de MOTIV a escala comercial, y evaluar su desempeño en condiciones de producción masiva.

## VIII. REFERENCIAS

- Akiyama, D. M., W. G. Dominy, A. L. Lawrence (1992). Penaeid shrimp nutrition. Pages 535- 568 in A. W. Fast and L. J. Lester, editors. Marine shrimp culture: Principles and practices. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands
- Alder, J., Campbell, B., Karpouzi V., Kaschner, K., Pauly, D. (2008). Forage fish: From ecosystems to markets. *Ann Rev Env Res* 33: 153-166
- Amaya, E., Davis, D. A., Rouse, D. B. (2007). Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 262, 419– 425. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.001>
- AOAC. (1990). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of AOAC International. Volume 1. AOAC International, Arlington, VA. 771 pp.
- AOAC. (2015). AOAC: Official Methods of Analysis International. Borrow, and Streaming. Oficial methods of Analysis of AOAC International. 19th ed. vol. 1. <https://archive.org/details/gov.law.aoac.methods.1.1990>
- Ariadi, H., Fadjar M., Mahmudi M., Supriatna., (2019). The relationships between water quality parameters and the growth rate of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in intensive ponds. *AACL Bioflux* 12(6): 2103-2116.

Bamforth, Charles (2005). Alimentación, fermentación y microorganismos. Editorial Acribia. Zaragoza, España

Boyd, C., D'Abramo, L., Glencross, B., Huyben, D., Juarez, L., Lockwood, G., McNevin, A., Tacon, A., Teletchea, F., Tommaso Jr., J., Tucker, C., Valenti, W. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. Journal of the World Aquaculture Society, 51 (3). 578-563. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>

Bulbul, M., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Kader, A. (2013). Performance of kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* fed diets replacing fishmeal with a combination of plant protein meals. Aquaculture, 372–375, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.10.023>

Cai, T., Li, Y.B. (2012). Cultivation of lipid-rich microalgae *Nannochloropsis salina* in anaerobic digestion effluent for biofuel production. The Ohio State University, USA. Proceed. Cong. San Diego.

Cargill Branded Feed (2019). Motiv™ Efficacy at Different Inclusion Levels in *Litopenaeus Vannamei*. Tomado de: <https://motivshrimp.com/en/blog/view/motiv-efficacy-at-different-inclusion-levels-in-litopenaeus-vannamei>

Castro-Gómez, P., Fontecha, J., Rodriguez-Alcala, L.M. (2014). A high-performance direct transmethylation method for total fatty acids assessment in biological and foodstuff samples. Talanta 128: 518-523

Chuchird, N., Rairat, T., Keetanon, A., Sequin, D., Chotikachinda, R., Manomaitis, L., Kanjanamayoon, C. (2022). Effect of feed enzymes and functional immunostimulants supplementation on growth performance and overall health of postlarvae and juvenile Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, fed soybean-based diets. J World Aquac Soc. 2023; 54:814–827.

Colombo, S.M. y Turchini, G. (2021). 'Aquafeed 3.0': Creating a more resilient aquaculture industry with a circular bioeconomy framework. *Reviews in Aquaculture*, 13

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) (04 de mayo de 2018). Cultivo de camarón, producción acuícola de calidad. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/cultivo-de-camaron-produccion-acuicola-de-calidad?idiom=es>

Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición animal (CONAFAB) (2023). La industria alimentaria animal de México 2023. CONAFAB.

Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., McCallum, I.M., Hickling, D. (2001). Assessment of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica sp.*) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquacult* 196:87-104v

Davis, D.A., Arnold, C. (2000) Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*. 185, 291–298

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 pp.

Edwards, P., Zhang, W., Belton, B., Little, D.C. (2009). Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: Its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Marine Policy*. [Volume 106](#)

Ezquerro-Brauer, J.M., Diaz, A.C., Fenucci, J. (2007). Harina de calamar. En: García-Galano, T., Villarreal, H., Fenucci, J. (eds). *Manual de ingredientes Proteicos*

y aditivos empleados en la formulación de alimentos balanceados para camarones peneidos. EUDEM, Argentina. 108-183 pp

FAO (2009). FISHSTATS Plus: Universal Software for Fishery Statical Time Series. Rome: Food and Agriculture Organization; 2009. Version 2.32.

FAO (2018). The state of world fisheries and aquaculture 2018—Meeting the sustainable development goals. Rome, Italy: Author.

FAO (2019). FAO's work on climate change – Fisheries y aquaculture. Rome.

FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la agricultura, 2018. Food and Agricultural Organization.

FAO. (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd0683es>

Francis, G., P. S. Harinder, H. P. S., Makkar, B. Klaus (2001). Anti-nutritional factors present in plant derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture 197:197-227.

Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. Journal of Biological Chemistry. 276: 497-507 pp.

Fox, C. J. (2014). Issues around fisheries for small pelagic fish. SAMS Internal Report, 284

Galkanda-Arachige, H.S.C, Hussain, A.S., Davis, D.A. (2021). Fermented corn protein concentrate to replace fishmeal in practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture Nutrition. 2021;00:1–10.

Gallardo, P., Gaxiola, G., Soberano, S.J., Taboada, G., Perez, M., Rosas, C., Cuzon, G., Espinoza, L.G., Sotelo A. (2012). Nutritive value of diets containing fish

silage for the juvenile *Litopenaeus vannamei* (Bonne 1931). J Sci Food Agric. 92: 2320-2325.

Gemedé, H.F., Ratta, N. (2014). Antinutritional factors in plant foods: potential health benefits and adverse effects. Global Adv. Res. J. Food Sci. Technol. 3 (4), 103–117.

Gopan, A., Lalappan, S., Varghese, T. (2020). Anti-Nutritional Factors in Plant-Based Aquafeed Ingredients: Effects on Fish and Amelioration Strategies. Biosc.Biotech.res.comm. special issue Vol 13 no 12 (2020) Pp-01-09.

Goytortua-Bores, E., Civera-Cerecedo, E., Rocha-Meza, S., Green-Yee, S. (2006). Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for White shrimp *Litopenaeus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility. Aquaculture 256. 1-4: 414-422

Hanel, R., De Graaf, S., Schnack, D. (2007). Partial replacement of fishmeal by lyophilized powder of the microalgae *Spirulina platensis* in Pacific White shrimp diets. Op Mar Biol J. 1: 1-5.tan

Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquaculture Research, 41, 770–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x>

Hernández C., Olvera-Novoa, M. Smith, D., Hardy, R., Gonzalez-Rodriguez, B. (2010). Enhancement of shrimp *Litopenaeus vannamei* diets base don terrestrial protein sources via the inclusion of tuna by-product protein hydrolasates. Aquacult 31: 117-123.

Index Mundi (2023). Index Mundi Commodity Prices. Tomado de: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybeans>

- Jackson, A. (2012). Fishmeal and fish oil and its role in sustainable aquaculture. *International Aquafeed*, 15(1), 18–21.
- Jaffer, Y.D., R. Saraswathy, R. Ishfaq, M. Antony, J. Bundela, and D.S. Sharma (2020). Effect of low salinity on the growth and survival of juvenile pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*: A revival. *Aquaculture*, 515: 734561.
- Joseph, I., Raj, R.P. (2007). Efficacy of bacterial fermented oilcake mix as fishmeal substitute in the diet of tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius) post larvae. *Ind J Fish*. 54: 379-387
- Kearns J.P. (1998). Extrusion reviewed. *Aquafeed international*, (3) 33-37
- Khun, D.D., Boardman, G.D., Lawrance, A.L, Marsh, L., Flick, G.J. (2009). Microbial floc meal as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. *Aquacult*. 296: 51-57
- Lemos D., Esquerria J.M. & Garcia-Carreño F.I. (2000). Protein digestion in penaeid shrimp: digestive proteinases, proteinases inhibitors and feed digestibility. *Aquaculture* 186, 89–105.
- Lemos, D., Lawrence, A.L., Siccardi, A. (2009). Prediction of apparent protein digestibility of ingredients and diets by *in vitro* pH-stat degree of protein hydrolysis with species-specific enzymes for juvenile Pacific White shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult* 295: 89-98.am
- Lim, C., Beames, R.M, Eales, J.G., Prendergast, A.F., McLeese, J.M. (1997). Nutritive values of low and high fibre canola meals for shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquacult Nutr* 3: 269-279
- Lim, C., Dominy, W. G. (1990). Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp. *Aquaculture*, 87, 53–63

- Lin, Y.H., Chen, Y.T. (2022). Lactobacillus spp. fermented soybean meal partially substitution to fish meal enhances innate immune responses and nutrient digestibility of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed diet with low fish meal. *Aquaculture*, 548.
- Lopez-Ortiz, E., Arambul-Muñoz, E., Tinajero, A., Del Rio, O.B., Galindo, L.A., Viana, M.T. (2023). Effect of substitution of poultry by-product meal by bovine by-product meal on overall performance for *Litopenaeus vannamei* . *Animal Feed Science and Technology* 303(2-4):115689
- Mai, K. S., Lv, M. D., and He, G. (2021). The issue of protein sources of aquafeed-a new approach to improve utilization efficiency of feed protein. *Feed. Ind.* 42 (1), 2–6. doi: 10.13302/j.cnki.fi.2021.01.001
- Maldonado, C., Guillen, O.S., Pantoja Arena, L., Ezquerro-Bauer, M., Alvarez-Gonzalez, A., Cuzon, G., Gaxiola, G. (2012). Effect of plant protein concentrates on nutrition physiology of *L. vannamei*. *Aquac Res* 43: 1209-1222
- Malumba, P., Boudry, C., Roiseaux, O., Bindelle, J., Bickers, Y., Béra, F. (2015). Chemical characterisation and in vitro assessment of the nutritive value of co-products yield from the corn wet-milling process. *Food Chemistry*, 166: 143-149
- Manan, H., Zhong, J.M.H., Othman, F., Ikhwanuddin, M. (2015). Histopathology of the hepatopancreas of pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* from none early mortality syndrome (EMS) shrimp ponds. *J. Fish. Aquatic. Sci.* 2015, 10, 562.
- Martínez, L., Martínez, M., Cortes, E. (2014). Alimentos y estrategias de alimentación para una acuicultura sostenible. Universidad de Sonora.

- Mauro-Félix, A., Molinero, M., Del rio, O.B., Tinajero, A., Arambul-Muñoz, E., Peña-Marin, E., Viana, M.T. (2025). Effect of cricket meal and acid cricket silage from *Acheta domestica* in diets and as a substitute for fish meal and fish oil on the productive performance of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture International* 33(2):1-19
- Molina-Poveda, C., Lucas, M, Jover, M. (2014). Utilization of corn gluten meal as a protein source in the diet of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*. 21 (6), 824-834 pp. <https://doi.org/10.1111/anu.12209>
- Molina-Poveda, C., Morales, M.E. (2004). Use of a mixture of barely-based fermented grains and wheat gluten as an alternative protein source in practical diets for *Litopenaeus vannamei* (Bonne). *Aquac Res* 35: 1158-1165.
- Morales, V., Cuéllar-Anjel, J. (2014). Guía Técnica – Patología e Inmunología de Camarones Penaeidos. OIRSA, Panamá, Rep. de Panamá.
- Muñoz, O. (2004). Comparación entre Extruído y Pelletizado en Alimentos de Camarones. In: Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U. y González, M. 2004. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 16-19 Noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, México
- Mykles, D.L. (2011). Ecdysteroid metabolism in crustaceans. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.* 127, 196–203.
- National Research Council (NRC) (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. Editorial National Academics Press, Washington, D.C., U.S.A. 57-95, 392 pp.
- Novriadi. R., Wahyudi, A.E., Fadhilah, R., Seiler, B., Balk, D., Jolly-Breithaupt, M. (2021). Evaluation of dietary corn fermented protein on growth performance and haemato-inmunological parameters of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*. 2022; 53: 851-859.

- Novriadi, R., Endar, V., Budi, S., Windarto, S., Mertz, K., Nguyen, H. (2022). Effect of fermented corn protein concentrate on growth performance, haemocyte counts, histological structure of hepatopancreas and intestinal condition of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aqua. Fish & Fisheries*. 2022;1–12.
- Novriadi, R., Istiqomah, I., Isnansetyo, A., Balk, D., Jolly-Breithaupt, M., Davies, S. (2023). Corn fermented protein in production diets for pacific white legged shrimp *Litopenaeus vannamei*: Improved growth performance, health status and resistance to infection. *Aquaculture Reports* 30 (2023) 101571
- ONU (1987). *Nuestro futuro común*. Madrid: Alianza
- 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. *Methods*. 177: 85-95 pp
- Pintor, I., Mata-Sotres, J.A., Rodríguez-Hernández, A., Del Río-Zaragoza, O.B., Viana, M.T. y Vázquez-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 pp
- Poveda, C. M., Ortega, M. E. (2021). Extruded feeds combined with acoustic feeding technology maximizes shrimp farm production « *Global Aquaculture Advocate*. Global Aquaculture Alliance
- Powell, Christopher, Tansil, Fiona, France, James, Bureau, Dominique (2019). Growth trajectory analysis of Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Comparison of the specific growth rate, the thermal-unit growth coefficient and its adaptations. *Aquaculture Research*. 2019; 00:1–10.
- Prayitno, S., Rimbayu Bagus, A., Novriadri R., Endar, Herawati, V, Windarto, S. (2022). EFFECT OF BIOACTIVE PROTEIN INGREDIENTS (MOTIVTM) ON

TOTAL HEMOCYTE AND SURVIVAL RATE OF VANNAMEI SHRIMP, *Litopenaeus vannamei*. Indonesian Aquaculture Journal, 17 (1). 23-28 pp.  
<https://doi.org/10.15578/iaj.17.1.2022.23-2>

Rausch, K.D., Belyea, R.L. (2006). The future of coproducts from corn processing. *Appl Biochem Biotechnol* 128, 47–86.  
<https://doi.org/10.1385/ABAB:128:1:047>

Rego, M. A. S., Sabbag, O. J., Soares, R., y Peixoto, S. (2017). Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: A case study in the state of Pernambuco, Brazil. *Aquaculture International*, 25, 473–483. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0044-7>

Reuscher, D. (2006). Particle size reduction for animal feeds. In *Feed Technology: Technical report series*, American Soybean Association, International Marketing Southeast Asia

Richard, L., Surget, A., Rigolet, V., Kaushik, S. J., Geurden, I. (2011). Availability of essential amino acids, nutrient utilisation and growth in juvenile black tiger shrimp, *Penaeus monodon*, following fishmeal replacement by plant protein. *Aquaculture*, 322–323, 109–116.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.09.032>

Roszer, T. (2014). The invertebrate midintestinal gland (“hepatopancreas”) is an evolutionary forerunner in the integration of immunity and metabolism. *Cell Tissue Res.* 2014, 358, 685–695.

Sánchez-Muros, M. J., Renteria, P., Vizcaino, A., Barroso, F. G. (2020). Innovative protein sources in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding. *Reviews in Aquaculture*, 12, 186–203

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (12 de diciembre de 2020). Producción de camarón crece para alimentar a México. Gobierno de México.

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/produccion-de-camaron-crece-para-alimentar-a-mexico?idiom=es>

Smith, D.M., Tabrett, Irvin, S.J., Wakeling, J., Glencross, B.D., Harris, D. (2007). Response of the black tiger shrimp, *Penaeus monodon* to feed containing the lupin alkaloid, gramine, *Aquacult* 272: 556-563

Soares, R., Peixoto, S., Davis, R. P., Davis, D. A. (2021). Feeding behavior and growth of *Litopenaeus vannamei* fed soybean-based diets with added feeding effectors. *Aquaculture*, 536, 736487. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736487>

Tacon, A. G. J., y Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>

Tan, B., Yu, Y. (2003). Reemplazo de la harina de pescado con harina de carne y hueso en el desempeño en crecimiento del camarón blanco *P. vannamei*. En: Tacon, A., Hardy, R. (eds.). NRA, Alexandria, Va 22314, USA. 5-13 pp

Tejada de Hernández, I. (1992). Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de Educación Continua en Producción Animal. 397 pp.

Veterinaria Digital (04 de enero de 2022). La producción de camarón en 2021 tuvo cifras positivas en Latinoamérica. <https://www.veterinariadigital.com/noticias/la-produccion-de-camaron-en-2021-tuvo-cifras-positivas-en-latinoamerica/>

Viana, M.T., Rombenso, A.N., Del Rio-Zaragoza, O.B., Nomura, M., Diaz-Arguello, R., Mata-Sotres, J.A. (2019). Intestinal impairment of the California yellowtail, *Seriola dorsalis*, using soybean meal in the diet. *Aquaculture* 513.

- Wang, J., Zhang, H., Yang, Q., Tan, B., Dong, X., Chi, S., Liu, H., Zhang, S. (2020). Effects of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization and non-specific immune enzyme activities for juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Reports* 16 (2020).
- Wickins, John F., Lee, Daniel (2002). *Crustacean Farming. Ranching and Culture. (Second Edition)*. Blackwell Science LTD
- Yohana, M., Ray, G., Yang, Q., Tan, B., Chi, S., Lin, H., Mao, M., Yi, Y. (2023). Implications of dietary soybean meal replacement with corn gluten meal on growth performance, antioxidant activities, hepatopancreatic histopathology, and intestinal flora of juvenile Pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 33.
- Yu, D., Fang, X., Zhou, Y., Rhodes, M., Davis, D.A. (2013). Use of Corn Protein Products in Practical Diets for the Pacific White Shrimp. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Alvarez-González, C. (Eds), *Contribuciones Recientes en Alimentación y Nutrición Acuícola*, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, pp. 105-126.
- Zheng, L., Liu, Y., Zhang, Y., Xu, B., Sagada, G., Wang, Z., Chen, C., Lang, X., Zhang, J., Shao, Q. (2023). Comparative study on the effects of crystalline L-methionine and methionine hydroxy analogue calcium supplementations in the diet of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Front. Physiol.* 14:1067354. doi: 10.3389/fphys.2023.1067354