

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE PESQUERÍA



**“VALORIZACIÓN NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD DEL
HIDROLIZADO DE SUBPRODUCTOS DE JUREL Y CABALLA EN
DIETAS DE JUVENILES DE *Penaeus vannamei*”**

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO

JAIME ISRAEL OTINIANO PACHECO

LIMA – PERÚ

2024

VALORIZACIÓN NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD DEL HIDROLIZADO DE SUBPRODUCTOS DE JUREL Y CABALLA EN DIETAS DE JUVENILES DE *Penaeus vannamei*

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	1library.co Fuente de Internet	2%
2	purl.org Fuente de Internet	1%
3	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
4	cibnor.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	1%
5	www.cenaim.espol.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	"Evaluación de varias fuentes de proteína vegetal en dietas para camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> ", 'Universitat Politecnica de Valencia' Fuente de Internet	<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA

TÍTULO DE TESIS

**“VALORIZACIÓN NUTRICIONAL Y DIGESTIBILIDAD DEL
HIDROLIZADO DE SUBPRODUCTOS DE JUREL Y CABALLA EN DIETAS
DE JUVENILES DE *Penaeus vannamei*”**

Presentada por:

JAIME ISRAEL OTINIANO PACHECO

Tesis para optar el título de:

INGENIERO PESQUERO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

M. Sc. Arníbal Severo Verástegui Maita
Presidente

Dra. Fabiola Ofelia Olivares Ponce
Miembro

Dra. Verónica Anamaria Sierralta Chichizola
Miembro

Dra. Jessie Marina Vargas Cárdenas
Asesor

Mg. Sc. Elsa Victoria Vega Galarza
Co-Asesor

Lima-Perú

2024

DEDICATORIA

A mis padres Jaime Otiniano y Aurora Pacheco, quienes siempre se esforzaron en enseñarme con el ejemplo y por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, sin ser mi etapa universitaria una excepción.

A mi enamorada Nadia Legua, quien con paciencia y amor me apoya e impulsa a crecer como persona.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme paciencia, seguridad y fortaleza durante todas las etapas de la investigación, así como permitir estar siempre acompañado de personas que me apoyen.

Al PNIPA, por el financiamiento de la presente investigación, mediante el contrato N°832-2020-PNIPA-SUBPROYECTOS para el proyecto “Transformación de subproductos obtenidos del proceso de conservas de Jurel (*Trachurus murphyi*) y Caballa (*Scomber japonicus*) para la elaboración de alimento balanceado para langostinos”.

A la Facultad de Pesquería, por facilitar el uso de la infraestructura, equipos y materiales del Laboratorio de Acuicultura, donde se realizó la etapa experimental de la investigación.

A la Dr. Jessie Vargas, por su gran labor como asesora durante todas las etapas de la investigación, brindándome su apoyo, paciencia, confianza y amistad.

A la Mg. Sc. Elsa Vega, por su labor de co-asesora, aconsejándome y brindándome las herramientas necesarias durante la etapa experimental del trabajo.

A la empresa Pesquera Hayduk S.A., en particular a la Ing. Rosario Sunohara, por promover el proyecto de investigación y brindar su apoyo en la adquisición de equipos y materiales necesarios para la realización de la misma.

A los miembros del jurado por dedicar su tiempo a la revisión del trabajo de investigación, y su sustancial aporte para enriquecerlo.

A Wilfer, Valeria, Sharid y Fátima, por su dedicación y apoyo constante durante toda la etapa experimental.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Generalidades	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.2.1.	Objetivo general.....	2
1.2.2.	Objetivos específicos	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.	Generalidades del langostino blanco	4
2.1.1.	Clasificación taxonómica.....	4
2.1.2.	Rasgos biológicos	4
2.1.3.	Ciclo de vida.....	5
2.2.	Requerimientos nutricionales	5
2.3.	Calidad del agua	6
2.4.	Residuos hidrobiológicos.....	7
2.5.	Hidrolizados de pescado	8
2.5.1.	Uso de hidrolizados de pescado en dietas de juveniles de langostino blanco	9
2.6.	Digestibilidad.....	10
2.6.1.	Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA).....	11
2.6.2.	Digestibilidad de las proteínas	12
III.	METODOLOGÍA.....	14
3.1.	Localización.....	14
3.2.	Fase pre-experimental.....	14
3.2.1.	Implementación y maduración del Sistema de Recirculación Acuícola (SRA)	14
3.2.2.	Obtención de las unidades biológicas.....	15
3.2.3.	Aclimatación y cuarentena de post larvas.....	15
3.3.	Fase experimental	16
3.3.1.	Evaluación de las dietas experimentales.....	157
a.	Caracterización de lal HSJC (Hidrolizado de Subproductos de Jurel y Caballa)....	24
b.	Formulación y elaboración de dietas	24
3.3.2.	Manejo experimental	21
a.	Calidad y monitoreo de la calidad de agua en el SRA	24
b.	Manejo experimental de los langostinos.....	24
c.	Controles biométricos	24
3.3.3.	Evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC	22
3.3.4.	Evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC	24

a.	Elaboración de dietas	24
b.	Evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del Ingrediente	25
c.	Manejo experimental	26
d.	Determinación de Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la dieta y del HSJC.....	27
3.4.	Diseño y manejo experimental	28
3.4.1.	Evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC	28
3.4.2.	Determinación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC.....	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Parámetros de la calidad del agua.....	28
a.	Temperatura	31
b.	Oxígeno Disuelto y Saturación	32
c.	Potencial de Hidrógeno (pH)	33
d.	Salinidad	34
e.	Amonio Total (NH ₄ + NH ₃).....	35
f.	Nitritos (NO ₂)	36
g.	Nitratos (NO ₃).....	37
h.	Fosfatos	38
4.2.	Evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC.....	28
9		
a.	Peso final (g).....	40
b.	Tasa de Crecimiento (g/d)	41
c.	Tasa de Crecimiento Específica (%).....	41
d.	Factor de Conversión Alimenticia (FCA).....	42
e.	Supervivencia (%)	43
f.	Tasa de Eficiencia Proteica (TEP).....	43
4.2.1	Perfil de aminoácidos	44
4.3.	Evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC	46
4.3.1.	Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas y del HSJC	46
4.3.2.	Proteína digestible	47
V.	CONCLUSIONES	50
VI.	RECOMENDACIONES	51
VII.	REFERENCIAS.....	52
VIII.	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadios de crecimiento del langostino blanco (<i>Penaeus vannamei</i>).....	5
Tabla 2. Porcentaje de inclusión de requerimientos nutricionales en los juveniles del langostino blanco (<i>Penaeus vannamei</i>).....	5
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua para el cultivo de langostino blanco (<i>Penaeus vannamei</i>).....	6
Tabla 4. Composición de subproductos de pescado.....	7
Tabla 5. Parámetros de calidad de agua durante la aclimatación	16
Tabla 6. Composición proximal del HSJC	18
Tabla 7. Perfil de aminoácidos del HSJC y la harina de pescado.....	18
Tabla 8. Composición porcentual de la dieta basal (T ₀) y dietas experimentales con reemplazo de proteína de harina pescado por hidrolizado	19
Tabla 9. Parámetros de evaluación, instrumentos y frecuencia de medición de la calidad de agua.....	21
Tabla 10. Tasas de alimentación	22
Tabla 11. Parámetros productivos evaluados en juveniles de langostino	24
Tabla 12. Composición porcentual de la mezcla de la dieta basal y el HSJC en la Dieta de Referencia (Dr) y la Dieta de Prueba (Dp)	25
Tabla 13. Tratamientos en la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC	28
Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua	30
Tabla 15. Parámetros productivos de los juveniles de <i>Penaeus vannamei</i> durante los 41 días experimentales en un SRA	39
Tabla 16. Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la dieta y del HSJC	46
Tabla 17. Proteína digestible	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del proceso de hidrolizado enzimático.....	8
Figura 2. Flujo del proceso de elaboración del HSJC.....	23
Figura 3. Distribución de los tratamientos en el SRA para la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC.....	223
Figura 4. Distribución de los tratamientos en el SRA para la prueba de Digestibilidad....	26
Figura 5. Temperatura promedio durante la prueba de crecimiento.....	32
Figura 6. Oxígeno Disuelto promedio durante la prueba de crecimiento.....	33
Figura 7. Saturación Oxígeno promedio durante la prueba de crecimiento.....	33
Figura 8. pH promedio durante la prueba de crecimiento	34
Figura 9. Salinidad promedio durante la prueba de crecimiento.....	35
Figura 10. Amonio Total promedio durante la prueba de crecimiento	36
Figura 11. Nitritos promedio durante la prueba de crecimiento.....	37
Figura 12. Nitratos promedio durante la prueba de crecimiento	38
Figura 13. Fosfatos promedio durante la prueba de crecimiento	39
Figura 14. Evaluación del peso promedio semanal durante la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC	41
Figura 15. FCA y Supervivencia de juveniles de <i>Penaeus vannamei</i> al reemplazar la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Registros fotográficos.....	67
ANEXO II. Análisis de varianza de los parámetros de la calidad del agua	70
ANEXO III. Análisis de varianza de los parámetros productivos.....	74
ANEXO IV. Parámetros productivos del reemplazo de la proteína de harina de pescado por el HSJC.....	76
ANEXO V. Coeficiente de Digestibilidad del HSJC.....	80

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo valorizar nutricionalmente el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa (HSJC) en las dietas de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*). Se formularon tres dietas experimentales, reemplazando el 0% (T₀), 50% (T₁) y 100% (T₂) de la proteína de la harina de pescado por el HSJC en las dietas. Estas fueron administradas a 135 juveniles, de 0.15 gramos de peso promedio, distribuidos en 9 acuarios (3 por cada tratamiento) en un Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) durante 41 días con controles biométricos semanales. Los parámetros productivos resultantes fueron una alta supervivencia en todos los tratamientos, siendo T₂ el valor más alto (97.78%). El peso final y la tasa de crecimiento mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo T₂ (0.79g; 0.016g/d) menor que T₀ (1.19g; 0.025g/d) y T₁ (1.13g; 0.024g/d). El factor de conversión alimenticia (FCA) fue más eficiente en T₀ (1.75), seguido por T₁ (1.98) y T₂ (2.25), siendo significativamente menor ($p < 0.05$) entre T₀ y T₂. La tasa de eficiencia proteica (TEP) fue significativamente más alta ($p < 0.05$) en T₀ (1.66) en comparación con T₁ (1.41) y T₂ (1.29). La digestibilidad del HSJC se evaluó utilizando una Dieta de Referencia (Dr) y Dieta de Prueba (Dp) con 1% de óxido de cromo como marcador inerte para la alimentación de 80 juveniles, de 1 gramo de peso promedio, distribuidos en 8 acuarios, de los cuales se recolectaron heces diariamente durante 24 días. El Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) y Proteína Digestible del HSJC fueron bajos (51.93% y 30.31%). En conclusión, es posible el reemplazo del 50% de la proteína de la harina de pescado por el HSJC, sin afectar el crecimiento, FCA y supervivencia en juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*), a pesar del bajo CDA y proteína digestible del ingrediente.

Palabras claves: Hidrolizado de subproductos, *Penaeus vannamei*, parámetros productivos, proteína digestible, acuicultura.

ABSTRACT

This study aimed to nutritionally valorize the hydrolysate of jack mackerel and mackerel by-products (HSJC) in the diets of juvenile white shrimp (*Penaeus vannamei*). Three experimental diets were formulated, replacing 0% (T₀), 50% (T₁), and 100% (T₂) of the fish meal protein with HSJC in the diets. These diets were administered to 135 juveniles, with an average weight of 0.15g, distributed in 9 tanks (3 for each treatment) in a Recirculating Aquaculture System (RAS) for 41 days, with weekly biometric controls. The resulting productive parameters showed high survival rates in all treatments, with T₂ reaching the highest value (97.78%). The final weight and growth rate showed significant differences ($p < 0.05$), with T₂ (0.79g; 0.016g/d) lower than T₀ (1.19g; 0.025g/d) and T₁ (1.13g; 0.024g/d). The feed conversion ratio (FCR) was more efficient in T₀ (1.75), followed by T₁ (1.98), and T₂ (2.25), with a significant difference ($p < 0.05$) between T₀ and T₂. The protein efficiency rate (PER) was significantly higher ($p < 0.05$) in T₀ (1.66) compared to T₁ (1.41) and T₂ (1.29). The digestibility of HSJC was evaluated using a Reference Diet (Dr) and Test Diet (Dp) with 1% chromium oxide as an inert marker for the feeding of 80 juveniles, with an average weight of 1 g, distributed in 8 tanks. Feces were collected daily for 24 days. The Apparent Digestibility Coefficient (ADC) and Digestible Protein of HSJC were low (51.93% and 30.31%). In conclusion, replacing 50% of the fish meal protein with HSJC is feasible without affecting the growth, FCR, and survival in juvenile white shrimp (*Penaeus vannamei*), despite the low ADC and digestible protein of the ingredient.

Keywords: By-product hydrolysate, *Penaeus vannamei*, productive parameters, digestible protein, aquaculture.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En el 2022, la producción acuícola en el Perú fue de 140 931 toneladas, un valor 6.56% menor respecto al año anterior. Sin embargo, ha generado más de 429 millones US\$ FOB solo en exportaciones, siendo los principales destinos países como China, Estados Unidos, España, Corea del Sur y Japón. Dentro de estas estadísticas encontramos al langostino blanco (*Penaeus vannamei*) como la segunda especie acuícola más importante del Perú. El cultivo supera las 45 mil toneladas, abarcando el 32.1% de los recursos hidrobiológicos cosechados procedentes de la acuicultura, y manteniendo ingresos por exportación mayores a 274 millones US\$ FOB, superando a otras especies cultivadas (PRODUCE, 2023).

El cultivo de langostinos, al igual que otras especies de gran valor, requiere un alimento alto en proteínas, aportada comúnmente por la harina de pescado de recursos pesqueros pelágicos. En los últimos años, la disminución de la oferta y la creciente demanda de este ingrediente, ha provocado una importante alza de precios en la elaboración de piensos para animales, constituyéndolo como el costo más importante en la producción acuícola. Por esta razón se están utilizando subproductos de pescado para la elaboración de harina y aceite, generando productos con un valor nutricional más bajo en proteínas, pero más accesible a la economía de los productores acuícolas (FAO, 2022).

Por consiguiente, numerosas investigaciones se centran en el reemplazo de la harina y aceite de pescado por ingredientes baratos y menos contaminantes, como subproductos vegetales, harinas de insectos, microalgas, subproductos de pescado o animales terrestres, entre otros. Estas fuentes alternativas de proteínas podrían considerarse viables al comprobarse su digestibilidad, palatabilidad, producción sostenible a escala comercial, estabilidad física, entre otros criterios económicos y ambientales, que puedan demostrar la sostenibilidad y rastreabilidad de su producción (FAO, 2022).

Algunos subproductos de pescado interesantes provienen de la industria de enlatados, la cual según El Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2022 (2023), alcanzó una producción de

97.5 mil toneladas brutas en ese año, con la participación del recurso jurel y caballa de 19.4 y 18.7 mil toneladas, respectivamente, generando solo en exportaciones 53.9 millones de US\$ FOB. De esta industria se genera una importante cantidad de subproductos que pueden obtener un alto valor agregado si son procesados adecuadamente. Por ejemplo, solo en el proceso de eviscerado y fileteado de la producción de conserva de pescado de la Empresa Pesquera Hayduk S.A. se generan, respectivamente, un 2% y 26% de desperdicios entre vísceras, cabezas, colas, restos de carne, piel, espinas y escamas (Chávez, 2019).

Los subproductos de pescado, en particular las vísceras, son una fuente rica de proteína y grasas no saturadas, pero que debido a su composición tienen un corto periodo de estabilidad para su reaprovechamiento (Osorio & Llerena, 2018). No obstante, según Perea et al. (2021) y Cardoza et al. (2021), una alternativa para la obtención de dichas proteínas son los hidrolizados, ya que debido a su elaboración, estos poseen propiedades nutricionales y funcionales idóneas para la alimentación acuícola, como un alto contenido de proteínas (60% y 90%), alta digestibilidad, excelente textura y tamaño de partícula muy pequeño, que facilita la absorción de nutrientes.

La utilización de los hidrolizados en las dietas estimula el crecimiento de los organismos acuáticos, ya que sus características aromatizantes, perfil balanceado de aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular permiten una rápida absorción intestinal. Así mismo, se da uso a desperdicios de la industria pesquera de enlatados contribuyendo a una economía circular. Sin embargo, todavía hace falta definir los niveles de inclusión óptimos de los hidrolizados en las dietas de cultivo del langostino blanco (Cardoza et al., 2021).

Por lo tanto, en los últimos años, se ha estudiado el reemplazo de la harina de pescado por la incorporación de hidrolizados de subproductos de pescado en las dietas del langostino blanco (*Penaeus vannamei*) con diversas dosis para cada estadio del ciclo de producción, como de 1% a 6%, 4% a 9% y 15% a 16% en los estadios post-larval, juvenil y adulto, respectivamente, mejorando el peso final, ganancia de peso y tasa de crecimiento específica (Cardoza et al., 2021). Se han evaluado también, las propiedades nutricionales de las dietas con hidrolizados y los parámetros productivos consecuentes, aumentando la supervivencia y crecimiento del langostino blanco (Nguyen et al., 2012; Carranza et al., 2018).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Valorizar nutricionalmente el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en las dietas de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de reemplazo de proteína de la harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en la dieta de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).
- Evaluar los parámetros productivos en juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*) al reemplazar la proteína de la harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa.
- Determinar la digestibilidad proteica del hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en las dietas de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del langostino blanco

2.1.1. Clasificación taxonómica

Según World Register of Marine Species (WoRMS), la clasificación taxonómica del langostino blanco descrita originalmente por Boone (1931) es la siguiente:

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Crustacea

Clase: Malacostraca

Orden: Decapoda

Familia: Penaeidae

Género: *Penaeus*

Especie: *Penaeus vannamei*



2.1.2. Rasgos biológicos

El langostino blanco *Penaeus vannamei* tiene las siguientes características principales (FAO, 2006):

- Su coloración es normalmente blanca translúcida, pero puede cambiar dependiendo del sustrato, la alimentación y la turbidez del agua.
- Talla máxima 23 cm. Comúnmente las hembras crecen más rápidamente y adquieren mayor talla que los machos.
- Rostrum moderadamente largo con 7–10 dientes dorsales y 2–4 dientes ventrales.
- En los machos maduros petasma simétrico y semi abierto.

- Las hembras maduras tienen el télico abierto.
- La fase larval consta de 6 nauplios, 3 proto-zoeas, y 3 etapas de mysis.

2.1.3. Ciclo de vida

El ciclo de vida del langostino blanco depende del estado nutricional, estrés y calidad de agua en el que la especie se encuentre. Sin embargo, el ciclo de vida del langostino blanco se puede dividir en cuatro estadios de crecimiento relacionados al tiempo y peso (larva, post-larva, juvenil y adulto), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Estadios de crecimiento del langostino blanco (Penaeus vannamei)

Estadio	Duración (días)	Peso (g)
Larva	10 – 13	-
Post-larva	10 - 15	<1
Juvenil	90 - 150	1 - 20
Adulto	>150	>20

Nota: Tomado del *Penaeus vannamei. In Culture aquatic species fact sheets*, por FAO, 2009.

2.2. Requerimientos nutricionales

Los requerimientos nutricionales en los juveniles del langostino blanco varían según el sistema de crianza (semi-intensivo o intensivo). La Tabla 2 expresa los macro y micro nutrientes en porcentaje e inclusión en las dietas de juveniles del langostino blanco (*Penaeus vannamei*).

Tabla 2

Porcentaje de inclusión de requerimientos nutricionales en los juveniles del langostino blanco (Penaeus vannamei).

Nutriente	Requerimiento (%)	Referencia
Proteínas	35 – 40	Hamidoghli et al., 2018; Jana et al., 2021; Lee & Lee, 2018; NRC, 2011

Lípidos	5 – 12	Ayisi et al., 2017; NRC, 2011; Zhu et al., 2009; Hamidoghli et al., 2020
Carbohidratos	15 – 38	Ayisi et al., 2017; Wang et al., 2014; Haryati, 2014; Li et al., 2017
Vitaminas, minerales	2 – 5	Ayisi et al., 2017
Colesterol	0.13 – 0.35	NRC, 2011; Li et al., 2017; Zhang et al., 2019; Guo et al., 2020

2.3. Calidad del agua

Los parámetros que determinan la calidad de agua tales como oxígeno disuelto, salinidad, pH, nitritos, amonio, entre otros, son herramientas básicas para el cultivo del langostino blanco en estanques (Chuquipoma, 2020). Los valores óptimos de estos parámetros se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.

Parámetros de calidad de agua para el cultivo de langostino blanco (Penaeus vannamei).

Parámetros	Valores
Oxígeno Disuelto (ppm)	4
Temperatura (°C)	27 – 28
NAT (ppm)	<0.04
pH	7.5 – 8
Nitritos y nitratos (ppm)	<0.25
Alcalinidad (ppm CaCO ₃)	40 – 60
Salinidad (‰)	25 – 35
Dureza (ppm CaCO ₃)	75 – 200

Nota: Tomado de *Parámetros de calidad del agua entre tres fuentes de abastecimiento, para el cultivo de Penaeus vannamei (boone, 1931), en agua dulce, en la empresa Ecoacuicola S.A.C. Piura, Perú.*, por Chuquipoma, 2020.

El estricto monitoreo y manejo de los parámetros de calidad del agua, donde no se produzcan variaciones de dichos parámetros, implica necesariamente la utilización de un Sistema de

Recirculación Acuícola (SRA), que permite que los organismos cultivados presenten mejores tasas de crecimiento, sobrevivencia y conversión alimenticia (Silva et al., 2021). Para dicho fin, los SRA procesan el agua utilizada en los estanques de producción para reacondicionar el efluente generado en el cultivo. Este proceso tiene cuatro funciones básicas: circulación de agua, remoción de sólidos, biofiltración e intercambio gaseoso. El sistema SRA permite también un importante ahorro de agua (renovación entre un 5 y 10% del volumen de los cultivos) y energía eléctrica, permitiendo la sostenibilidad de los cultivos más intensivos. (García et al., 2011). Sin embargo, la ausencia de monitoreo del correcto funcionamiento del SRA puede alterar la calidad de agua del cultivo, generando toxicidad en los estanques por acumulación de amonio y nitritos, así como la falta de apetito y asimilación de nutrientes por presencia de bajas temperaturas, bajas concentraciones de oxígeno o altas salinidades. En todos los casos, propiciando la mortalidad de los camarones (Hernández, 2016).

2.4. Residuos hidrobiológicos

Los residuos generados en la pesca, acuicultura o procesamiento de la industria pesquera, corresponde a vísceras, colas, pieles, cabezas, gónadas, etc. en las proporciones presentadas en la Tabla 4, llamándolos subproductos que no son valorados como alimento directo para humanos, sin embargo, contienen biocomponentes de interés tecnológico tales como: péptidos bioactivos, colágeno, gelatina, hidroxapatita, sulfato de condroitina, ensilados y otros con aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica, médica, biomédica, ingeniería ambiental, cosmética, entre otras (García et al., 2020).

Tabla 4

Composición de subproductos de pescado

Parte del pescado	Composición (%)
Ojos	0.8 – 1.5
Cabeza	9 – 12
Piel	1 – 3
Músculo	40 – 55
Vísceras	12 – 18

Nota: Tomado de *Guía para la valorización de subproductos de la acuicultura*, por Iñarra et al., 2018.

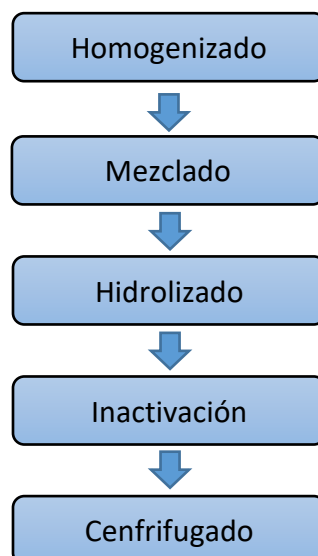
2.5. Hidrolizados de pescado

Los hidrolizados se han utilizado como ingredientes en dietas debido a su valor nutritivo, palatabilidad y alta digestibilidad mejorando la digestión, absorción de nutrientes de bajo peso molecular y crecimiento somático (Eranga, 2020). Los hidrolizados de pescado se definen como proteínas de pescado que se descomponen en péptidos de diferentes tamaños mediante un proceso químico o enzimático. El primero afecta la calidad nutricional de los péptidos resultantes, mientras que la vía enzimática es más ventajosa debido a que en el proceso hay mayor control y selectividad, además, éste es menos drástico y genera un producto de mayor valor nutricional (Hleap & Gutiérrez, 2017).

El proceso de producción de hidrolizado de pescado (Figura 1) consta de tres etapas principales: un pre-tratamiento el cual consiste en formar una mezcla homogenizada agua-músculo (o subproducto); una segunda etapa, la hidrólisis, en la cual se mezclan la pasta y la enzima en una relación conocida a un tiempo, pH y temperatura determinados; la enzima es luego inactivada por calor, generalmente a 90°C durante 30 minutos. Finalmente, se centrifuga separando la fase grasa de la proteica y ésta última se seca obteniendo así el hidrolizado (Hleap & Gutiérrez, 2017).

Figura 1.

Flujograma del proceso de hidrolizado enzimático





Secado

Nota: Tomado de *Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria*, por Hleap y Gutiérrez, 2017.

La presencia de proteína en los subproductos de pescado es bastante alta y susceptible de ser aprovechada para beneficio del ser humano, por lo que la fabricación de hidrolizados utilizando enzimas ha sido objeto de investigación desde hace muchos años (Hleap & Gutiérrez, 2017). La Syiah Kuala University de Indonesia evaluó la utilización de dos enzimas Alcalasa® y Flavourzyme® aplicadas a subproductos pesqueros, encontrando niveles de proteína en los productos finales con valores cercanos a la obtenida por la proteína muscular y un mayor rendimiento con Alcalasa®. En conclusión, los hidrolizados pueden servir como fuente de proteína (Muzaifa et al., 2012). En otra investigación, se evaluaron subproductos del procesamiento industrial del atún, realizando hidrolizados enzimáticos, mediante la proteasa Protamex® como enzima activa. A partir de la cabeza, vísceras y cola de este pescado se obtuvieron hidrolizados de buena calidad (Nguyen et al., 2011).

2.5.1. Uso de hidrolizados de pescado en dietas de juveniles de langostino blanco

Un estudio realizado por Nguyen et al. (2012) mostraron que la suplementación con hidrolizados solubles de cabeza de atún en reemplazo del 50% de harina de cabeza de atún, en dietas de 40% de proteína cruda para juveniles de *P. vannamei* con peso promedio 4.34 gramos, lograron en seis semanas incrementar significativamente las tasas de supervivencia a 97.4 ± 0.64 %, la ganancia de peso a 6.00 ± 0.22 g, el índice de conversión alimenticia a 1.73 ± 0.01 y el índice de eficiencia proteica a 1.47 ± 0.01 , en comparación con la dieta control con 92.2 ± 1.9 %, 5.16 ± 0.08 g, 2.01 ± 0.06 y 1.27 ± 0.04 , respectivamente.

Por otro lado, Carranza et al. (2018) evaluaron durante siete semanas la utilización del hidrolizado proteico proveniente de la tilapia *Oreochromis niloticus* y corvina *Cynoscion* sp. en la dieta de juveniles *P. vannamei* con peso promedio de 3.6 gramos. Se concluyó un mejor crecimiento al utilizar el hidrolizado de tilapia, evidenciado un factor de conversión alimenticia de 1.65 y una tasa específica de crecimiento de 1.87%, valores superiores al 2.11 y 1.58% del hidrolizado de corvina, y 2.80 y 1.11% de la dieta control, respectivamente.

También, Hlordzi et al. (2022) evaluaron el uso del hidrolizado de pescado en juveniles de *P. vannamei* con peso promedio 0.84 gramos durante ocho semanas, utilizando seis dietas isoproteicas (39% CP) e isolipídicas (8%) con reemplazo de harina de pescado en 0% (control), 12.5%, 21%, 25%, 30% y 37.5% por el hidrolizado. Se observaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento específico (SGR%) con valores entre 3.92% al 4.26%, por encima del tratamiento control (3.42%); y en el factor de conversión alimenticia, donde se presentaron resultados significativamente mayores en los tres tratamientos con mayor reemplazo de harina de pescado (1.5 a 1.85), en comparación a la dieta control y otros tratamientos (2.04 a 2.18).

2.6. Digestibilidad

El alimento balanceado constituye un 50-60% de los costos de producción de un sistema acuícola, por lo que es relevante optimizar su uso. Así mismo, muchas veces, se cree que una excelente base de nutrientes en un ingrediente es suficiente para una buena dieta, sin embargo, si los nutrientes no son bien digeridos y absorbidos en el trato intestinal del organismo no se encontrarán mejoras significativas. Por lo tanto, la digestibilidad como una forma de medir el aprovechamiento de los nutrientes debe ser evaluada (Gucic, 2008).

La digestibilidad es principalmente una medida de absorción de nutrientes durante el proceso digestivo. En el caso de las proteínas, se hidrolizan a aminoácidos antes de su absorción (NRC, 2011). Así, la digestibilidad es un balance entre los nutrientes que se incorporan en los alimentos y de los que salen a través de las heces. Existen dos métodos para medir la digestibilidad, el método de recolección total (método directo) consiste en la recolección cuantitativa de las heces totales correspondientes a uno o más alimentos, y el método con indicador (método indirecto) utiliza un marcador inerte en el alimento (Óxido crómico, Cr_2O_3). Este último se basa en los cambios en las proporciones de los nutrientes y el marcador en el alimento y las heces, como producto de la ingestión, digestión y absorción de los nutrientes por el organismo (Gucic, 2008). Es decir, un aumento de la concentración del marcador, en comparación con la de los nutrientes, permite cuantificar la desaparición de estos nutrientes y esta desaparición se equipará a la absorción (Guillaume et al., 2004).

La mayoría de los estudios de digestibilidad realizados con alimentos acuícolas utilizan dietas formuladas que contenían marcadores externos, como óxido crómico (Cr_2O_3), partículas sintéticas (polietileno) y óxido de itrio. El óxido crómico es el marcador más

comúnmente utilizado y generalmente se incluye en la dieta en una concentración de 0.5 a 1.0% (Rodrigues, 2012). Por ejemplo, Ye et al. (2012), utilizaron un 0.5% de Cr₂O₃ como indicador para evaluar el crecimiento del langostino blanco en el reemplazo de harina de pescado por otras alternativas proteicas con similares niveles de proteína cruda y aminoácidos en dietas experimentales. Por otro lado, Siccardi III et al. (2019) incorporaron el 1% de Cr₂O₃ como indicador para determinar a digestibilidad aparente de energía, proteína y materia seca de 30 ingredientes utilizados en alimentos balanceados para *Penaeus vannamei*. Así también, Vargas et al. (2015) incorporaron el 1% de Cr₂O₃, como marcador inerte, en cada una de las dietas evaluadas en el cultivo de juveniles de *Penaeus vannamei* en un SRA, para determinar el Coeficiente de Digestibilidad Aparente de 4 dietas experimentales con harinas comerciales de algas verdes y marrones, y una dieta control.

2.6.1. Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA)

El Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) cuantifica el alimento asimilado por los animales que no se corrigen ante un ligero sesgo por la presencia de una fracción de origen endógeno en las heces (Guillaume et al., 2004).

La digestibilidad se puede medir directamente restando la cantidad de nutrientes en las heces de los aportados en el pienso. Este método no es práctico en peces, debido a las dificultades para medir con precisión la ingesta de alimento, la producción total de heces y la lixiviación de nutrientes; por tanto, es más habitual utilizar un método indirecto para la determinación de la digestibilidad. Este método implica el uso de un marcador no digerible en la dieta. La digestibilidad del nutriente y/o energía se puede determinar evaluando la diferencia entre el alimento y las concentraciones fecales de marcador y nutriente (Rodrigues, 2012). A continuación, se estima el Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) mediante la siguiente fórmula utilizada por Cho et al. (1982) y Takeuchi (1988):

$$CDA(d) = 100 \times \left[1 - \left(\frac{Cr_2O_3d}{Cr_2O_3h} \right) \right]$$

Donde:

CDA(d) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta.

Cr₂O₃d = % de óxido de cromo en la dieta.

Cr₂O₃h = % de óxido de cromo en las heces de la dieta.

Nh = % de nutriente en las heces.

Nd = % de nutriente en la dieta.

La determinación de la digestibilidad de un solo ingrediente en animales acuáticos rara vez es posible, ya que estos no aceptan fácilmente la alimentación de alimentos individuales como soja, trigo, etc. Sin embargo, la digestibilidad de los ingredientes se puede obtener mediante el método de diferencia, ya que se supone que en condiciones normales la digestibilidad de los nutrientes es aditiva, es decir, la digestibilidad de un nutriente en un ingrediente no interactúa con la digestibilidad del mismo nutriente en otro ingrediente. En este método, el ingrediente de prueba reemplaza parte de una dieta de referencia para obtener la dieta de prueba (Rodrigues, 2012).

Cho et al. (1982) desarrollaron este método para estudios de digestibilidad en pescado con dietas de prueba compuestas por 30% del ingrediente de prueba y 70% de la dieta de referencia. Así mismo, el NRC (2011) recomienda la utilización de la siguiente fórmula para el cálculo del Coeficiente de Digestibilidad Aparente del ingrediente de prueba, considerando la disminución de los efectos de los inevitables errores que se cometen en las mezclas durante la elaboración de las dietas.

$$CDA_{Ing} = CDA_{Dp} + \left[(CDA_{Dp} - CDA_{Dr}) \times \left(\frac{0.7 \times D_{Ref}}{0.3 \times D_{Ing}} \right) \right]$$

Donde:

CDA Ing = Coeficiente de Digestibilidad Aparente del ingrediente.

CDA Dp = Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Dieta de Prueba.

CDA Dr = Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Dieta de Referencia.

DRef = % nutriente de la Dieta de Referencia.

DIng = % nutriente del Ingrediente.

2.6.2. Digestibilidad de las proteínas

Las proteínas no se absorben como tales, sino que se absorben los aminoácidos que las componen. Por lo tanto, la digestibilidad de las proteínas depende de la medida en que pueda hidrolizarse a aminoácidos libres, así como del tipo de proteína y del grado en que los enlaces pueden hidrolizarse. La digestibilidad de los ingredientes proteicos complejos es la suma de la digestibilidad de las diversas proteínas que componen un ingrediente. El procesamiento

de ingredientes de los alimentos es fundamental para descomponer las proteínas que son difíciles de digerir y mejorar la digestibilidad de las mismas (NRC, 2011).

Los valores de ADC para proteínas son las sumas fraccionarias de los valores de ADC para aminoácidos y otros compuestos nitrogenados en los ingredientes del alimento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los valores de ADC para cada aminoácido no son necesariamente los mismos que para la proteína en un ingrediente dado; algunos ADC son más altos y otros más bajos. Además, se encuentran diferencias en la digestibilidad de los aminoácidos en algunos ingredientes procesados de diferentes maneras. Por ejemplo, la digestibilidad de la lisina en las harinas de sangre difiere según el proceso utilizado para secar la harina (NRC, 2011).

Según Viraes (2008), la digestibilidad de las proteínas, así como la de los demás nutrientes, resulta del producto entre la concentración (%) del nutriente en el ingrediente y su coeficiente de digestibilidad aparente, descrito anteriormente. Con la siguiente fórmula se obtiene la digestibilidad proteica y otros nutrientes.

$$\text{DIG. Ingr. (\%)} = (\text{Nutr. Ingrid.}) * (\text{CDAingr})$$

Donde:

DIG. Ingr: Digestibilidad de un nutriente en el ingrediente prueba.

Nutr. Ingrid: Concentración (%) de un nutriente en el ingrediente prueba (análisis proximal).

CDAingr: Coeficiente de digestibilidad aparente de un nutriente en el ingrediente prueba.

III. METODOLOGÍA

3.1. Localización

La investigación se llevó a cabo durante los meses de Septiembre del 2022 a Enero del 2023 en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Pesquería, ubicado en la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), Lima, Perú. Se desarrollaron dos fases: la fase pre-experimental y la fase experimental.

3.2. Fase pre-experimental

La fase pre-experimental se basó en la calibración de los equipos y materiales, la obtención y esterilización del agua de mar, la implementación y maduración del Sistema de Recirculación Acuícola (SRA), seguido de la selección de los organismos experimentales utilizados, y finalmente, la recepción, aclimatación y cuarentena de los langostinos. La duración de la fase pre-experimental fue de 70 días, dando paso a la fase experimental.

3.2.1. Implementación y maduración del Sistema de Recirculación Acuícola (SRA)

El Sistema de Recirculación Acuícola del Laboratorio de Acuicultura consiste en 16 acuarios de dimensiones 0.5 x 0.35 x 0.3 m dispuestos sobre una mesa a una altura de 1.2m sobre el piso. Los acuarios dispuestos en 2 filas paralelas cuentan con un sistema de control de agua y drenaje mediante tubos de PVC. Así mismo, sobre los acuarios se encuentran los sistemas de distribución de agua y de aireación, que conectan a cada uno de los acuarios, y provienen de un tanque elevado y un soplador (Blower de ½ HP marca Sweetwater), respectivamente. Además, el SRA cuenta con un sedimentador, un sistema de filtración mecánica, sistema de tratamiento biológico, un calentador y una bomba de 0.5 HP marca Baldor Reliance que permite transportar el agua tratada al tanque elevado.

Para el sistema de tratamiento biológico se inició la maduración de un biofiltro que se llevó a cabo en un tanque estático de 350 litros con agua de mar filtrada a 20 y 40 micras y esterilizada proveniente del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), con paquetes de canutillos, rulos y conchas de abanico en su interior, sirviendo de sustrato para las bacterias

nitrificantes marca Seachem inoculadas en el tanque. Durante la maduración del biofiltro, se realizaron mediciones diarias de temperatura con un termómetro de mercurio, oxígeno con un oxímetro RDO marca Thermo Scientific, pH con un potenciómetro marca Oakton, salinidad con un refractrómetro marca Atago, y amonio total, nitritos y nitratos con un kit comercial de acuario marca API. El biofiltro fue alimentado diariamente con 1 gramo de Sulfato de Amonio hasta alcanzar la presencia de nitritos y nitratos, así como la ausencia de amonio total en el agua durando este proceso 62 días.

Al término de la maduración del biofiltro, se realizó la limpieza y desinfección de los acuarios, la red de tuberías de agua y aire, tanque elevado, sedimentador y ambientes de filtrado mecánico y biológico. En primer lugar, se llenó con 2 m³ del agua de mar filtrada y desinfectada químicamente con 15 ppm de cloro libre, se colocaron 12 placas de fibra de vidrio en el sedimentador, seguido del filtro mecánico constituido por una cama de perlón y dulopillo, y finalmente, la distribución del biofiltro maduro compuesto por los paquetes de canutillos, ruleros y conchas de abanico, así como parte del agua que los contenía.

Al finalizar la implementación del SRA, se activó la electrobomba de 0.5 HP marca Baldor Reliance para mantener la circulación del agua de mar durante 2 días sin presencia de animales hasta la siembra de los langostinos. Para establecer la temperatura, se utilizaron calentadores de 50W marc Sebo, la aireación fue suministrada a través del Blower de ½ HP marca Sweetwater, y se estableció un flujo de agua constante de 2.5 lt/min requerido por los langostinos mediante la regulación de las llaves de ingreso de cada uno de los acuarios.

3.2.2. Obtención de las unidades biológicas

Se obtuvieron 1000 post larvas (PL 12) de la especie *Penaeus vannamei* de la empresa Eco Acuícola S.A.C. ubicada en Piura. Los ejemplares fueron transportados, en una bolsa inyectada con oxígeno y conteniendo carbón activado, vía terrestre durante 18 horas hasta su recojo en Lima, donde fueron recogidos y trasladados al Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Pesquería, ubicado en la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) para su aclimatación y cuarentena.

3.2.3. Aclimatación y cuarentena de post larvas

Una vez recibidas las post larvas se procedió a evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua que los contenía, se midió la temperatura con un termómetro de varilla, la concentración

de oxígeno con un oxímetro RDO marca Thermo Scientific, el pH con un potenciómetro marca Oakton, la salinidad con un refractómetro marca Atago, y el amonio total, nitritos y nitratos con un kit comercial de acuario marca API. Seguido de la aclimatación de los individuos, donde se añadió un litro de agua de mar limpia y aclimatada a condiciones ideales cada 15 minutos hasta alcanzar los parámetros óptimos (Chuquipoma, 2020) descritos en la Tabla 5.

Tabla 5.

Parámetros de calidad de agua durante la aclimatación

Parámetro	Agua inicial en bolsa	Agua final en acuario
Temperatura (°C)	25	27
Oxígeno (ppm)	5.05	6.28
Saturación (%)	70.5	93.1
pH	7.67	8.4
Amonio total (ppm)	1	0
Salinidad (‰)	34.5	35

Luego de la aclimatación de las post larvas, estas fueron distribuidas equitativamente de forma volumétrica retirándolas de litro en litro del acuario de aclimatación, y llevándolas, intercaladamente, a cada uno de los 3 acuarios de cuarentena de 55 litros cada uno, donde se mantuvieron por un periodo de 28 días, con agua de mar acondicionada a los parámetros de calidad de agua descritos en la tabla anterior y una tasa de recambio de agua diario del 50%. Así mismo, se suministró un alimento comercial de 350µm con 50% de proteína a una tasa de alimentación inicial del 20% distribuida en 5 raciones durante el día (8:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00 h), que se fue ajustando hasta un alimento comercial de 1.2mm con 35% de proteína a una tasa de 15%. Estas condiciones procuraron el crecimiento de los individuos de 250 pl/g (post larvas.g⁻¹) hasta 0.15 gramos, considerado como el peso inicial para la fase experimental.

3.3. Fase experimental

La fase experimental consistió en evaluar el reemplazo de la proteína de harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa (HSJC) en las dietas a través de los parámetros productivos durante 41 días; y posteriormente, se evaluó la digestibilidad del HSJC durante 24 días.

Este orden de trabajo fue debido a que los langostinos fueron entregados con un peso menor de 1g, por lo que se necesitó incrementar su talla para poder facilitar la colecta de heces necesaria en la prueba de digestibilidad del hidrolizado.

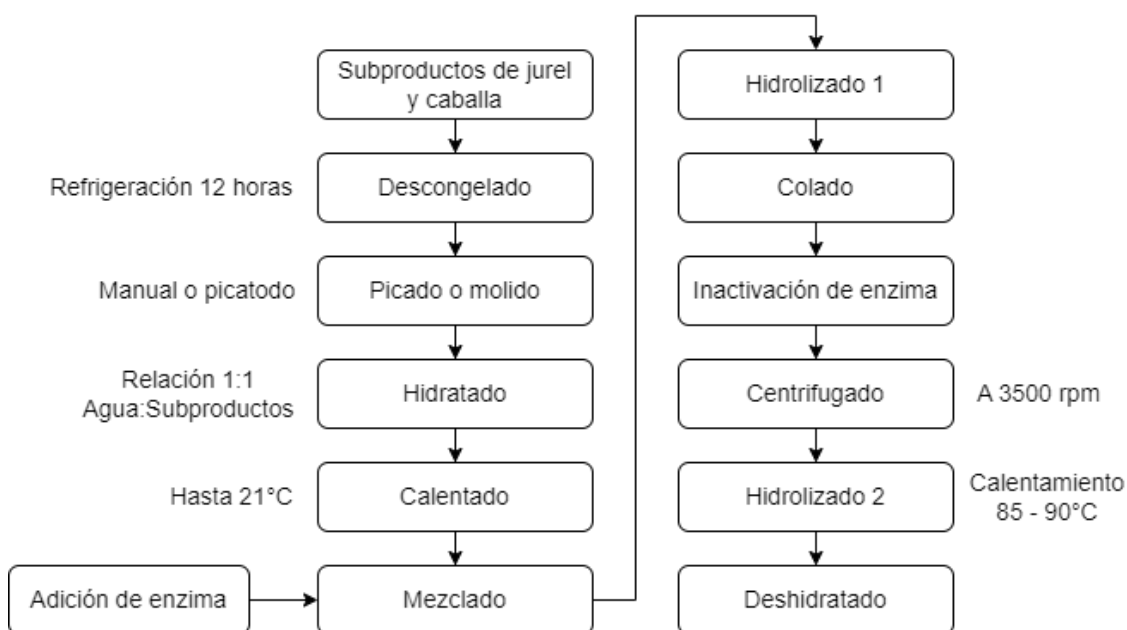
3.3.1. Evaluación de las dietas experimentales

a. Caracterización del HSJC (Hidrolizado de Subproductos de Jurel y Caballa)

El HSJC fue elaborado a partir de subproductos derivados del procesamiento de enlatado de jurel y caballa de la Pesquera Hayduk S.A., entre los cuales se encuentran escamas, músculos, huesos, piel y vísceras. Estos fueron mezclados y sometidos a un proceso de hidrolizado enzimático hasta descomponer sus estructuras proteicas y obtener una mezcla de péptidos y otros compuestos de bajo peso molecular. Finalmente, mediante la adición de carbohidratos, fue secado (deshidratado) para mantener una textura de una harina.

Figura 2.

Flujo del proceso de elaboración del HSJC.



Nota: Tomado de *Transformación de subproductos obtenidos del proceso de conservas de Jurel (Trachurus*

murphyi) y *Caballa (Scomber japonicus)* para la elaboración de alimento balanceado para langostinos, por Roldán et al., 2022.

Antes de realizar la formulación y elaboración de las dietas, se analizó la composición proximal del HSJC y la harina de pescado a utilizar (Tabla 6), así como el perfil de aminoácidos de dichos ingredientes (Tabla 7). Del mismo modo, se evaluó la composición proximal de los demás ingredientes utilizados.

Tabla 6.

Composición proximal del HSJC

Nutrientes (%)	HSJC
Proteínas	58.37
Lípidos	4.05
Fibra	0.39
NIFEX	23.97
Energía Bruta (Kcal/kg)	4820.10

Nota: Tomado de *Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA)*

Tabla 7.

Perfil de aminoácidos del HSJC y la harina de pescado

Aminoácido	Hidrolizado (PC: 58.37%)	Harina de pescado (PC: 67.19%)
Histidina (%)	2.51	1.60
Arginina (%)	2.92	3.78
Treonina (%)	2.68	2.90
Cisteína (%)	0.01	0.63
Lisina (%)	3.93	5.25
Tirosina (%)	4.71	2.21
Metionina (%)	1.42	2.00
Valina (%)	4.03	3.61

Isoleucina (%)	2.06	3.14
Leucina (%)	4.26	5.14
Fenilalanina (%)	1.96	2.73

Nota: Tomado del *Informe de Ensayo N°1097/22-L de World Survey Services Perú (WSS)*

b. Formulación y elaboración de dietas

Se realizó la formulación y elaboración de 3 dietas experimentales, las cuales reemplazaron el 0%, 50% y 100% de la proteína de la harina de pescado por el HSJC en la dieta basal (T₀) que consideró los requerimientos nutricionales para juveniles de *Penaeus vannamei* (NRC, 2011). La composición de las dietas experimentales se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Composición porcentual de la dieta basal (T₀) y dietas experimentales con reemplazo de proteína de harina pescado por hidrolizado

Ingredientes	T₀ (Reemplazo 0%)	T₁ (Reemplazo 50%)	T₂ (Reemplazo 100%)
Harina de pescado	24	12.5	-
Hidrolizado de pescado	-	14.5	28
Torta de soya	29.7	30	31.3
Harinilla de trigo	29.55	24	23.45
Lecitina soya	4	5	5
Aceite de pescado	7.8	8.07	7.3
Colesterol	0.25	0.25	0.25
CMC	1	1	1
Fosfato Dicálcico	2.5	2.8	2.8
Vitamina C	0.5	0.5	0.5
Cloruro de Colina	0.1	1	-
Premix Vitamínico y mineral ¹	0.5	0.3	0.3

Antioxidante	0.05	0.05	0.05
Antimicótico	0.05	0.05	0.05
Composición proximal			
Humedad	8.75	6.79	7.48
Proteína	34.38	35.82	34.52
Lípidos	14.29	16.19	16.92
Fibra	2.53	2.11	2.19
Nifex	29.88	28.26	29.65
Ceniza	10.17	10.83	9.24
Metionina	0.7	0.7	0.6
Lisina	2.3	2.3	2.2
Cistina	0.4	0.3	0.3
Energía Bruta (Kcal/g) ²	4.60	4.76	4.81

¹Premix: Vitamina A(9333333 UI), Vitamina D3 (1866667UI), Vitamina E (93333 UI), Vitamina K3 (5,333 g), Tiamina B1(12g), Riboflavina B2 (13,333g), Niacina (100g), Acido pantoténico (33,333g), Piridoxina B6 (10g), Biotina (0,533g), Ácido fólico (2,667g), Ácido ascórbico (210g), Vitamina B12 (0,02g), Manganeso (26,667g), Hierro (13,333g), Zinc (13,333g), Cobre (1g), Iodo (1g), Selenio (0,2g), Cobalto (0,1g), antioxidante (80g), Excipientes c.s.p (2000G).

²Energía Bruta (Kcal/g): Valores obtenidos mediante bomba calorimétrica.

La elaboración de cada una de las dietas consistió en realizar una pre-mezcla de los ingredientes menores, entre ellos, el colesterol, CMC, fosfato dicálcico, vitamina C, cloruro de colina, premix vitamínico, antioxidante y antimicótico, con una parte de la harinilla de trigo para aumentar el volumen. La harina de pescado, hidrolizado de pescado, torta de soya y el resto de harinilla de trigo se mezclaron, previo cernido. También de forma separada, se mezclaron la lecitina de soya y el aceite de pescado. Luego, la pre-mezcla, los ingredientes mayores y los aceites, se vertieron gradualmente en la mezcladora eléctrica marca Ferton de 10kg, añadiendo agua caliente hasta alcanzar una mezcla homogénea con textura adecuada. La mezcla resultante se trasladó a la moledora de carne marca Kenbro de 250 Kg/h, con una criba de 2mm para la obtención de “tallarines” que se recibieron en bandejas plásticas,

y se trasladaron a un horno deshidratador marca Klimatechnik a 55°C durante 4, 6 y 8 horas en las dietas T₀, T₁ y T₂, respectivamente. Por último, el alimento seco se quebró y tamizó a tamaños de 0.5mm y 1mm, se colocó en bolsas plásticas y fue almacenado en una congeladora marca Bosch a -18°C hasta su posterior uso.

Una muestra de cada dieta experimental preparada fue molida y llevada al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Facultad de Zootecnia, para evaluar la composición proximal y la determinación de energía bruta.

3.3.2. Manejo experimental

a. Calidad y monitoreo de la calidad de agua en el SRA

Los parámetros de calidad de agua en la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC, y en la evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC, se midieron tanto de las unidades experimentales como del filtro del SRA. Los equipos utilizados en la Tabla 9 fueron un termómetro de varilla marca Boeco para medir la temperatura, un oxímetro RDO marca Thermo Scientific para el oxígeno, un potenciómetro marca Waterproof para pH, un refractómetro marca Atago para salinidad, y un espectrofotómetro marca Hach modelo 3900 con sus respectivos reactivos para nitrógeno amoniacal total (NAT), N-NO₂, N-NO₃ y ortofosfato (PO₄⁻³), siendo el segundo y tercero multiplicados por el factor 3.28 y 4.42, respectivamente, para expresarlos en unidades de nitritos y nitratos (Boyd, 2017).

Tabla 9.

Parámetros de evaluación, instrumentos y frecuencia de medición de la calidad de agua.

Parámetro	Instrumento	Unidad	Frecuencia	Horario
Temperatura	Oxímetro Thermo Scientific	°C	Diario	8:00, 14:00 y 20:00.
Oxígeno disuelto	Oxímetro Thermo Scientific	ppm	Diario	8:00, 14:00 y 20:00.
Saturación de oxígeno	Oxímetro Thermo Scientific	%	Diario	8:00, 14:00 y 20:00.
Potencial de hidrógeno (pH)	pHmetro Oakton	-	Diario	14:00

Nitrógeno amoniacal total (NAT)	Espectrofotómetro Hach DR3900	mg/L	Interdiario	14:00
N-Nitritos y N-Nitratos	Espectrofotómetro Hach DR3900	mg/L	Interdiario	14:00
Salinidad	Refractómetro Atago	‰	Diario	14:00

b. Manejo experimental de los langostinos

La tasa de alimentación durante la fase experimental del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC se inició con 15% y, utilizando un tamaño de pellet de 1mm, esta se fue ajustando semanalmente conforme al crecimiento de los individuos. La frecuencia fue de 4 raciones durante el día (8:00, 12:00, 16:00, 20:00 h).

Tabla 10.

Tasas de alimentación (Van Wyk et al., 1999; Nicovita, 2020)

Día de cultivo	Tasa de Alimentación (%)
1 - 24	15 - 12
25 - 32	12 - 10
33 - 41	10 - 8

c. Controles biométricos

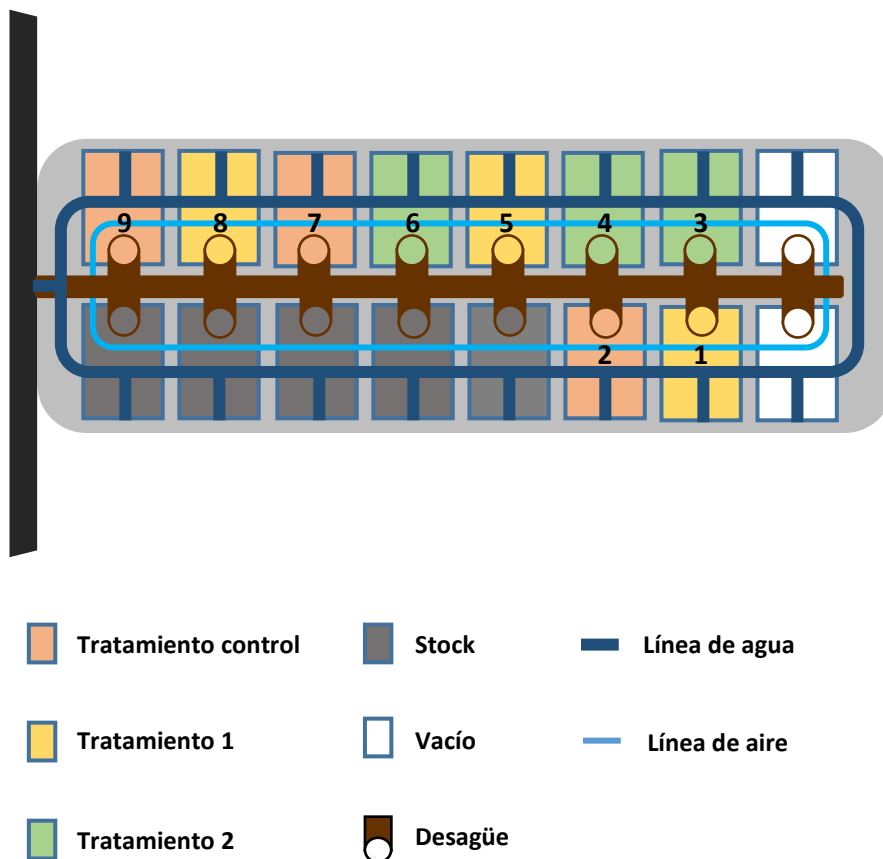
Los controles biométricos se realizaron a todos los langostinos en cada acuario. Para esto, se procedió a cerrar las llaves de ingreso de agua de cada uno de estos, seguido del retiro de los langostinos, uno a la vez, utilizando una red de acuario de ½ pulgada marca Fish Net, para depositarlos en un envase plástico rectangular con 0.5 litros de agua del SRA sobre una balanza digital de 600g marca Radwis, tarando su peso previamente. Una vez registrado el peso de todos los langostinos, estos se acopiaron en un balde con 20 litros hasta su traslado al mismo acuario de origen.

3.3.3. Evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC

La evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC tuvo una duración de 41 días. Se seleccionaron 135 ejemplares de langostinos blanco *Penaeus vannamei* de 0.15 gramos de peso promedio, estos fueron retirados de los acuarios de aclimatación, y puestos en baldes de plástico. Luego, los langostinos se retiraron con una red fina de pecera y se distribuyeron aleatoriamente sembrando 15 langostinos por acuario, en un total de 9 acuarios del SRA, manteniendo una carga equivalente a 0.04 kg/m³. Los acuarios mantuvieron un volumen de agua de 55 litros y un flujo constante de 2.5 lt/min cada uno, calculado con una jarra plástica de 1 lt y un cronómetro, y regulado manualmente con las llaves ubicadas en el ingreso de cada acuario hasta obtener el flujo de agua mencionado. Por último, se designó aleatoriamente a cada acuario una repetición de cada uno de los tratamientos.

Figura 3.

Distribución de los tratamientos en el SRA para la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC.



Cabe resaltar que el SRA cuenta con 16 acuarios en su totalidad, por lo que los 7 acuarios restantes no se utilizaron en dicha evaluación, destinándose los 5 restantes para mantener el stock de langostinos y dejando vacíos 2 en los extremos por donde había mayor circulación de personas, evitando así el estrés de los langostinos.

Los parámetros productivos evaluados, así como sus fórmulas, se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11.

Parámetros productivos evaluados en juveniles de langostino.

Parámetro	Fórmula	Autor
Supervivencia (%S)	$S = \frac{N^{\circ} \text{ Peces}_{\text{final}}}{N^{\circ} \text{ Peces}_{\text{inicial}}} \times 100$	Ruiz, 2017.
Biomasa final	$B_f = W_f \times N^{\circ} \text{ Peces}_{\text{final}}$	Cifuentes et al., 2012
Factor de conversión alimenticia (FCA)	$FCA = \frac{W_{\text{alimento}}}{W_f - W_i} \times 100$	Saavedra, 2006
Tasa de crecimiento (GR)	$GR = \frac{G}{t}$	Verástegui et al., 2008
Tasa de crecimiento específica (TCE)	$TCE = \frac{(\ln P_f - \ln P_i)}{(t_f - t_i)} \times 100$	Toledo, 2005
Tasa de Eficiencia Proteica (TEP)	$TEP = \frac{(W_f - W_i)}{W_{\text{proteína}}}$	Hu et al., 2008

3.3.4. Evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC

Al término de la primera fase experimental, se realizó la evaluación del coeficiente de digestibilidad del ingrediente. Durante 24 días, se realizó la colecta de heces para determinar la digestibilidad del HSJC y de la proteína de este, para lo cual se elaboraron dos dietas: una Dieta de Referencia (Dr) y una Dieta de Prueba (Dp) (Cho et al., 1982; Takeuchi, 1988).

a. Elaboración de dietas

Ambas dietas se elaboraron siguiendo el protocolo de Takeuchi (1988) y Vargas et al. (2023). Para elaborar la Dieta de Referencia (Dr), se reemplazó peso a peso el 1% de la dieta basal por óxido de cromo (Cr₂O₃) para lograr una mezcla homogénea. Esta cantidad de óxido de cromo fue precisamente mezclada con parte de la dieta basal a fin de incrementar su volumen, y posteriormente, se realizó la mezcla completa. Mientras que en la elaboración de

la Dieta de Prueba (Dp), se reemplazó peso a peso un 30% de la dieta basal por la harina de hidrolizado, dejando una mezcla conformada de 70% la dieta de basal y 30% el hidrolizado. De esta mezcla total, se reemplazó el 1% de su peso por óxido de cromo (Cr_2O_3) como indicador inerte en esta dieta de prueba. Las mezclas fueron prensadas por un molino eléctrico con 1 criba de 2mm, secadas como en el caso anterior, y quebrados para obtener partículas de 1mm. La composición porcentual de la Dieta de Referencia y la Dieta de Prueba se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12.

Composición porcentual de la mezcla de la dieta basal y el HSJC en la Dieta de Referencia (Dr) y la Dieta de Prueba (Dp)

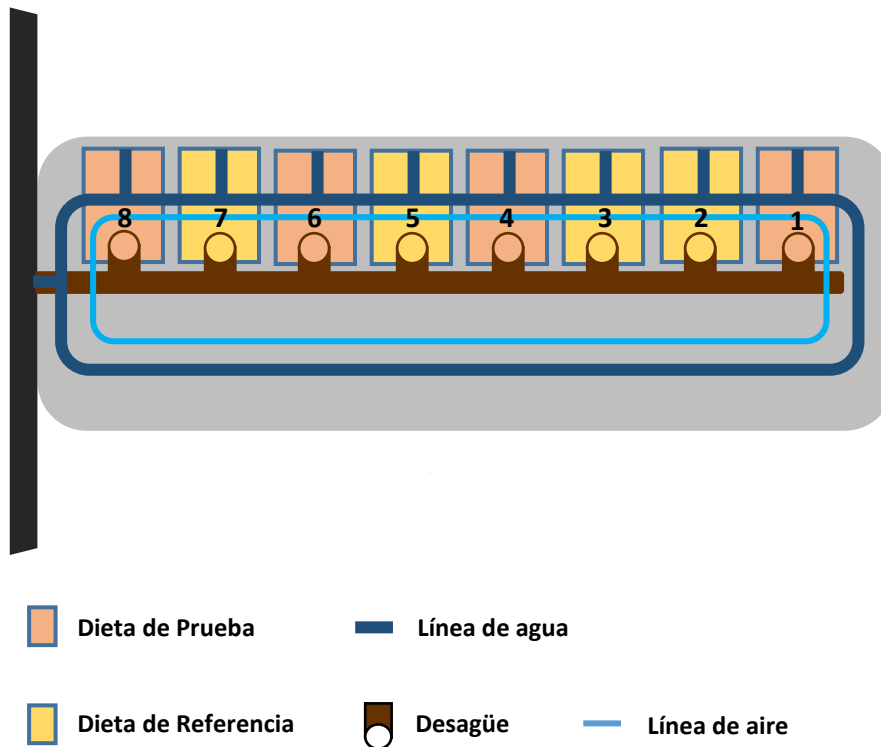
Ingredientes	Dr (%)	Dp (%)
Dieta basal (T_0)	100	70
Hidrolizado de HSJC	-	30
Óxido de Cromo	1	1

b. Evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del Ingrediente

Para esta prueba se utilizaron 80 ejemplares de *Penaeus vannamei* de 1 gramo de peso promedio, obtenidos del experimento anterior. Previamente, todos los langostinos mezclaron aleatoriamente y luego se distribuyó 10 langostinos por acuario en un total de 8 acuarios experimentales del SRA. Se mantuvo una carga de 0.18 kg/m^3 . Los langostinos fueron alimentados durante una semana con la dieta basal. Los acuarios mantuvieron un volumen de agua de 55 litros y un flujo constante de 2.5 lt/min cada uno. Por último, los dos tratamientos y sus repeticiones fueron distribuidos aleatoriamente quedando como lo indica la Figura 4.

Figura 4.

Distribución de los tratamientos en el SRA para la prueba de Digestibilidad



c. Manejo experimental

La Dieta de Referencia y la Dieta de Prueba fueron suministradas a los acuarios, según el tratamiento (Figura 3). Se utilizó un tamaño de pellet de 1mm y se alimentó a una tasa de alimentación de 7% durante toda la prueba de digestibilidad. Al igual que en el ensayo de crecimiento, la frecuencia de alimentación fue de 4 raciones durante el día (8:00, 12:00, 16:00, 20:00 h). La colecta de heces empezó al cuarto día de alimentación con las dietas experimentales.

La colecta de las heces de langostinos se realizó todos los días, una hora antes de cada alimentación (8:00, 12:00, 16:00, 20:00 h), mediante el método de sifón, para esto se utilizó una varilla hueca de vidrio de 50 cm de largo unida a una manguera. Las heces de cada acuario se recibieron en tamices de malla de 200um., y enjuagaron con agua destilada para eliminar el contenido de sal proveniente del agua de los acuarios. Luego, se traspasaron a los tubos centrifuga de 5ml con ayuda de una espátula, para llevarlo a centrifugar durante 10 min a 3000 rpm (Cho et al., 1982), para esto se utilizó una centrifuga marca Eppendorf. Al finalizar, se retiró el agua separada en cada uno de los tubos y se colocó en los envases pequeños de plástico rotulados para cada acuario, y fueron llevados a refrigeración. Una vez

acumulado suficiente cantidad de heces (2.5 gramos), estas se secaron en una estufa marca Memmert a 55°C, y se guardaron en bolsas herméticas etiquetadas en una congeladora marca Bosch a una temperatura de -18°C.

Las muestras rotuladas se llevaron al Laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina para la determinación de cromo (espectrofotometría de absorción atómica) y de nitrógeno en las heces.

d. Determinación de Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la dieta y del HSJC

Se determinó el Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la Dieta de Referencia y del HSJC, mediante la metodología propuesta por Takeuchi (1988). Las fórmulas para los cálculos fueron descritos en el NRC (2011).

Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas

$$CDA(d) = 100 \times \left[1 - \left(\frac{Cr_2O_3d}{Cr_2O_3h} \right) \right]$$

Donde:

CDA(d) = coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta.

Cr₂O₃d = % de óxido de cromo en la dieta.

Cr₂O₃h = % de óxido de cromo en las heces de la dieta.

Nh = % de nutriente en las heces.

Nd = % de nutriente en la dieta.

Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) del ingrediente

$$CDA_{Ing} = CDA_{Dp} + \left[(CDA_{Dp} - CDA_{Dr}) \times \left(\frac{0.7 \times D_{Ref}}{0.3 \times D_{Ing}} \right) \right]$$

Donde:

CDA Ing = Coeficiente de Digestibilidad Aparente del ingrediente.

CDA Dp = Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Dieta de Prueba.

CDA Dr = Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Dieta de Referencia.

DRef = % nutriente de la Dieta de Referencia.

D_{Ing} = % nutriente del Ingrediente.

Determinación de la proteína digestible del HSJC

La determinación de proteína y energía digestible, según Viraes (2008), es producto de la concentración (%) del nutriente en el ingrediente (hidrolizado) y el coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente (CDA_{Ing}).

$$PD_{Ing} (\%) = CDA_{Ing} \times PB$$

Donde:

PD Ing (%) = Porcentaje de proteína digestible en el ingrediente de prueba.

CDA Ing = Coeficiente de Digestibilidad Aparente del ingrediente.

PB = Proteína Bruta en el ingrediente prueba (hidrolizado).

3.4. Diseño y manejo experimental

3.4.1. Evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC

Se aplicaron 3 tratamientos con 0%, 50% y 100% de reemplazo cada uno con 3 repeticiones y 15 langostinos por acuario.

Tabla 13.

Tratamientos en la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por el HSJC.

Tratamiento	Dieta
T ₀	Reemplazo 0% (Dieta Basal)
T ₁	Reemplazo 50%
T ₂	Reemplazo 100%

Variable respuesta:

Parámetros productivos de la Tabla 11.

3.4.2. Determinación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC

Esta evaluación consistió en dos dietas: la Dieta de Referencia y la Dieta de Prueba, las cuales contuvieron 10 individuos por acuario con 3 repeticiones cada una.

3.4.3. Diseño estadístico

El análisis aplicado al primer experimento, obedece a un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 tratamientos. Las variables de los parámetros productivos y de calidad de agua resultantes fueron analizadas mediante la Prueba de Anderson-Darling y la Prueba de Bartlett, para determinar su normalidad y homogeneidad de varianzas, respectivamente. Luego, se aplicó un análisis de varianza (ANVA) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos, y de corresponder, se realizó la Prueba de Comparación Tukey para determinar diferencias significativas entre los tratamientos. El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante el software estadístico Minitab 19.

Para el análisis del Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) se realizó un análisis estadístico descriptivo, donde se calculó el Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la dieta y del ingrediente, así como la proteína digestible del hidrolizado. El análisis estadístico descriptivo de los datos se llevó a cabo mediante hojas de cálculo Excel 2020.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros de la calidad del agua

Los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua descritos en la Tabla 14 no evidenciaron diferencias significativas entre las medias de cada tratamiento, estos pueden verse en el Anexo II y se encontraron dentro de los valores adecuados para *P. vannamei*.

Tabla 14.

Parámetros fisicoquímicos de calidad del agua

Parámetro	Frecuencia	Tratamiento		
		T ₀	T ₁	T ₂
Temperatura (°C)	Diaria	28.17 ± 0.21	28.18 ± 0.04	28.38 ± 0.24
Oxígeno Disuelto (ppm)	Diaria	6.13 ± 0.01	6.13 ± 0.01	6.14 ± 0.02
Saturación de oxígeno (%)	Diaria	96.07 ± 0.33	96.16 ± 0.08	96.51 ± 0.29
pH	Diaria	8.23 ± 0.01	8.22 ± 0.04	8.22 ± 0.03
Salinidad (UPS)	Diaria	35.31 ± 0.11	35.32 ± 0.21	35.32 ± 0.17
Amonio Total (NH ₄ + NH ₃)	Interdiario	0.09 ± 0.02	0.10 ± 0.05	0.08 ± 0.02
Nitritos (NO ₂)	Interdiario	1.18 ± 0.93	0.98 ± 0.78	1.18 ± 0.19
Nitratos (NO ₃)	Interdiario	30.03 ± 1.82	30.57 ± 4.60	29.35 ± 2.50
Fosfatos (PO ₄)	Interdiario	1.36 ± 0.66	1.53 ± 0.68	1.45 ± 0.15

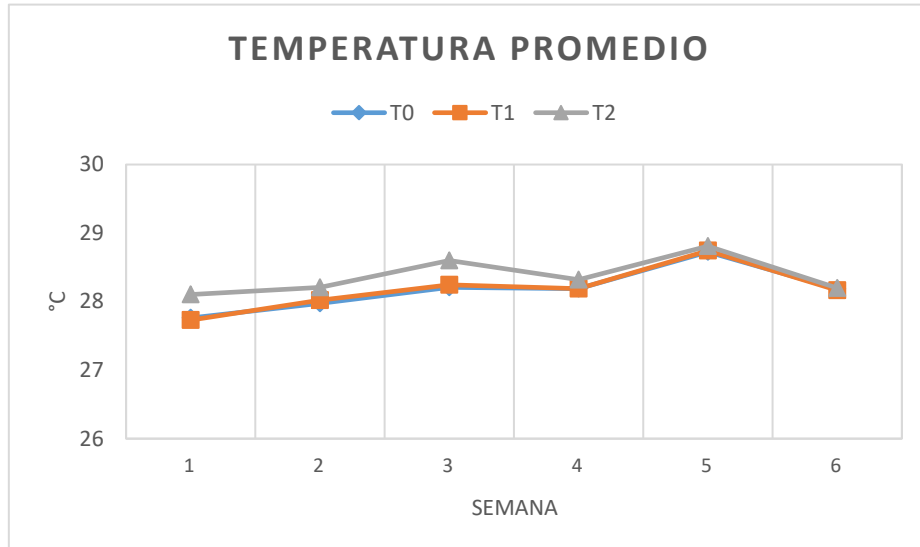
Estos parámetros de la calidad del agua no afectaron en ningún momento la presente investigación, ya que la utilización de un Sistema de Recirculación Acuícola (SRA) permitió un estricto control de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua, lo que supondría un mejor desempeño en los parámetros productivos de los langostinos. Así lo mencionan Silva et al. (2021) al mejorar tasas de crecimiento, sobrevivencia y conversión alimenticia durante el cultivo de organismos acuáticos en sistemas cerrados.

a. Temperatura

La temperatura durante la experimentación mantuvo niveles promedio de 28.17, 28.17 y 28.38°C en los tratamientos T₀, T₁ y T₂, respectivamente. Además, se presentaron niveles máximos de 30.5°C en T₁ y mínimos de 26.0°C en T₂, con una variación de temperatura mínima que puede observarse en la Figura 5. Estos resultados de temperatura se encuentran dentro de los recomendados por presentar mejores rendimientos productivos que otros. Por ejemplo, según Chuquipoma (2020), la temperatura óptima del cultivo del langostino blanco en agua dulce se encuentra entre 27 y 28°C. Mientras que Abdelrahman et al. (2018) obtuvieron mejores valores y menores variaciones de FCA y ganancia de peso a temperaturas entre 26 y 28°C, mencionando a las temperaturas menores a 23°C y las mayores a 30°C las menos eficientes para el crecimiento de langostinos. Bett y Vinatea (2009) concluyen que las temperaturas más adecuadas se encuentran entre 25 y 30°C para garantizar consumo estable de oxígeno y un mayor desempeño productivo.

Figura 5.

Temperatura promedio durante la prueba de crecimiento



Si bien en la semana 5 se obtuvo un máximo promedio en T₂ de 28.8°C (Figura 4), los niveles óptimos de temperatura para el crecimiento adecuado de los individuos se mantuvieron dentro de los rangos mencionados anteriormente.

b. Oxígeno Disuelto y Saturación

Los valores promedio de Oxígeno Disuelto y Saturación de Oxígeno estuvieron entre 6.1 ppm y 96%, respectivamente, valores por encima de los mínimos recomendados por Cheng et al. (2003) de 5 ppm para cultivos intensivos, y los de Chuquipoma (2020) de mayores a 4 ppm en cultivos semi-intensivos en agua dulce. Así mismo, estos parámetros se mantuvieron constantes dentro de los rangos mencionados durante toda la experimentación (Figura 6 y 7), sin llegar a valores letales como los son 0.2 a 1.27 ppm (Zhang et al.,2006).

Figura 6.

Oxígeno Disuelto promedio durante la prueba de crecimiento

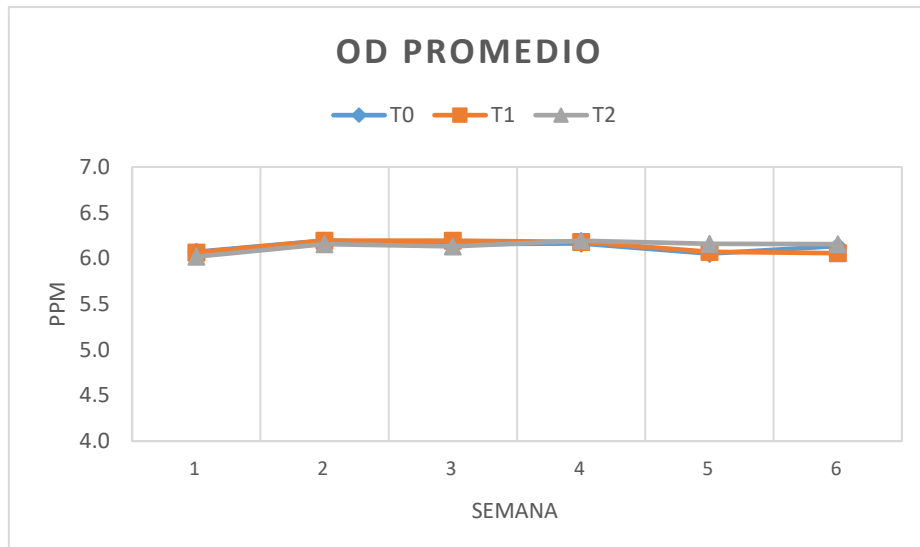
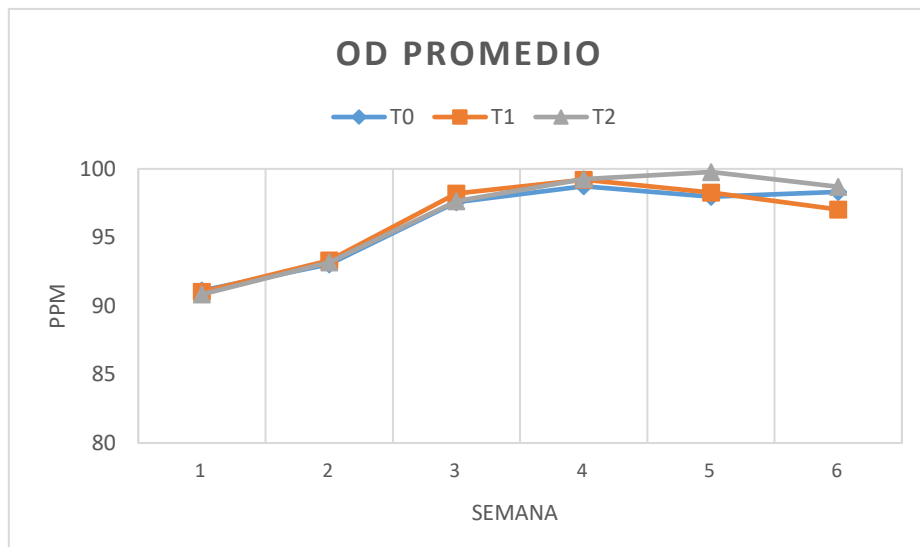


Figura 7.

Saturación Oxígeno promedio durante la prueba de crecimiento



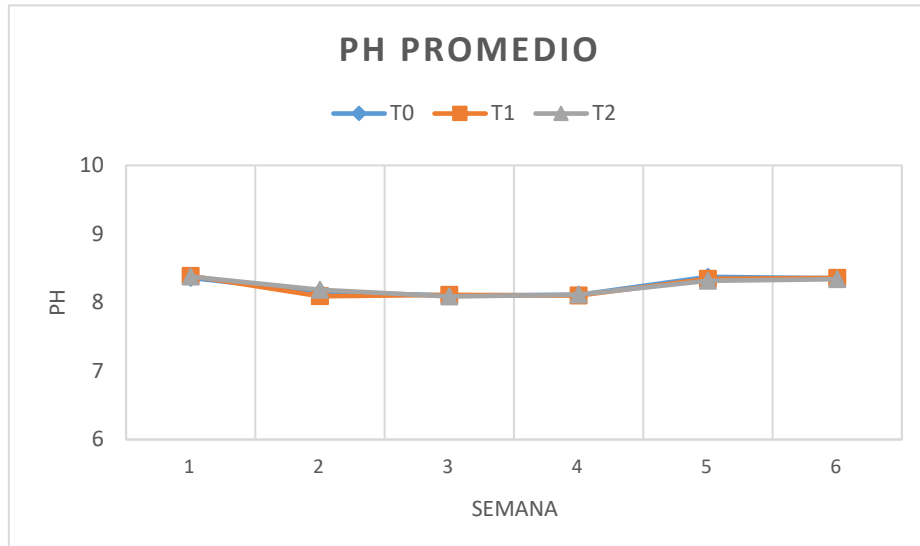
c. Potencial de Hidrógeno (pH)

Los valores de pH promedio durante los 41 días del experimento fueron de 8.2 para todos los tratamientos tal como se aprecia en la Figura 8, un valor parecido según los resultados de Pan et al. (2007) que mencionan una mayor ganancia de peso en post larvas de langostinos en cultivo con pH 8.1 en comparación a valores de pH 7.1, 7.6 y 9.1. Así también, Zhang et

al. (2015) reafirman el mismo valor de pH al concluir un mejor crecimiento, calidad de agua y respuesta inmune de los langostinos durante 48 días.

Figura 8.

pH promedio durante la prueba de crecimiento

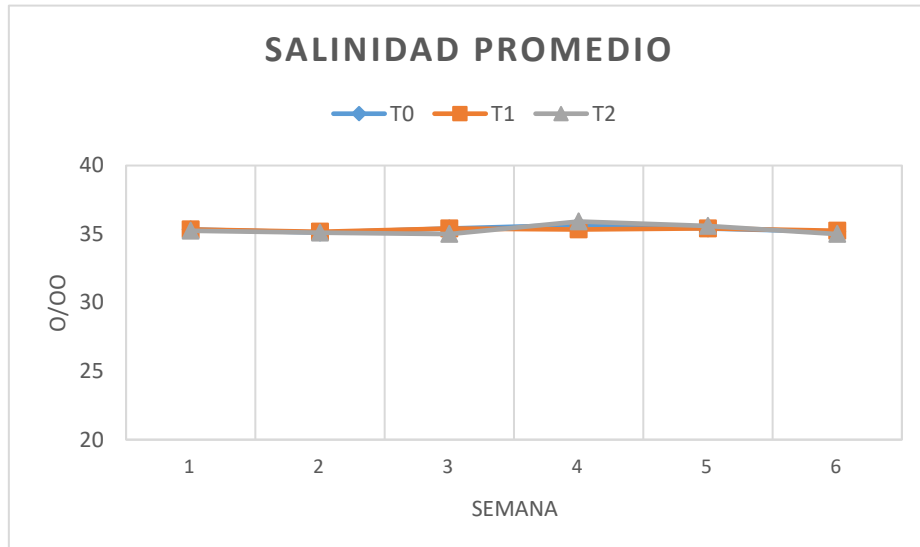


d. Salinidad

Según Chakravarty et al. (2016), el rango normal de salinidad requerido para el cultivo de langostinos está entre 10 a 35 ‰, por lo que el valor promedio de 35.3 ‰ obtenido se encuentra dentro de lo recomendable, sin variaciones durante las 6 semanas de experimentación (Figura 9). Así mismo, hay autores que han trabajado con valores similares de salinidad como Pan et al. (2007) que demostraron mayores ganancias de peso en langostinos cultivados a 31 y 28 ‰, y Decamp et al. (2003) que no encontraron diferencias significativas en la supervivencia en los langostinos criados a 9, 18 y 36 ‰, pero sí observó una disminución significativa en su peso final al disminuir la salinidad de 36 a 9 ‰. No obstante, otros autores mencionan la obtención de un mejor crecimiento productivo de los langostinos a una salinidad de 28 ‰ (Bückle et al., 2006), o valores por encima de 25 ‰ (Bett & Vinatea, 2009).

Figura 9.

Salinidad promedio durante la prueba de crecimiento

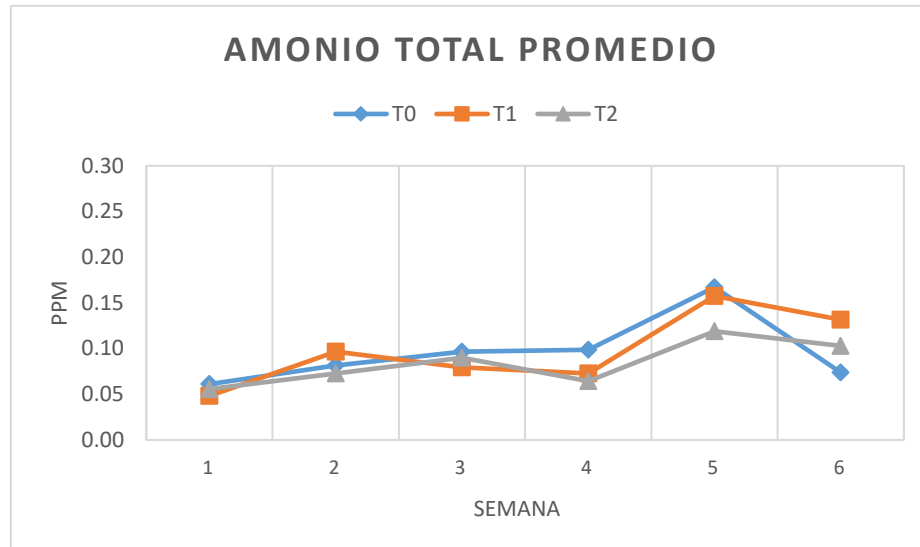


e. Amonio Total ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$)

Los valores de amonio total de los tratamientos T₀, T₁ y T₂ fueron 0.09, 0.10 y 0.08 ppm equivalentes a 0.07, 0.08 y 0.06 ppm de NAT (N-NH_4), respectivamente, y se ubican dentro del nivel de seguridad estimado por Lin y Chen (2001) de 3.95 ppm de NAT en salinidades de 35 ‰, a pesar que en la semana 5 se observaron valores máximos de 0.15 ppm de NAT en T₀ (Figura 10). De este modo, los niveles resultantes indican la ausencia de estrés oxidativo y apoptosis en el hepatopáncreas del langostino blanco, que es consecuencia de la exposición de amonio o amoniaco (Liang et al., 2016). Así mismo, los valores mencionados son notoriamente menores a los logrados por Audelo et al. (2012) y Lara et al. (2016) de 0.81 y 1.00 ppm de NAT en sistemas de cultivo intensivo sin recambio de agua y sistemas de cultivo intensivo biofloc, respectivamente, ambos con buenos rendimientos productivos.

Figura 10.

Amonio Total promedio durante la prueba de crecimiento

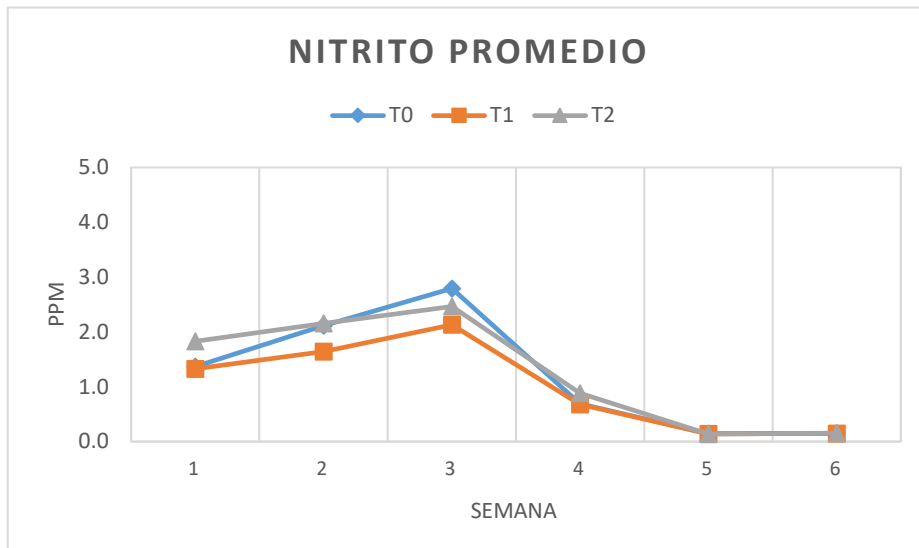


f. Nitritos (NO₂)

Los resultados de nitritos de los tratamientos T₀, T₁ y T₂ fueron 1.18, 0.98 y 1.18 ppm equivalentes a 0.36, 0.30 y 0.36 ppm de N-NO₂, respectivamente, muy por debajo del nivel de seguridad propuesto por Lin y Chen (2003) de 25.7 ppm de N-NO₂ en salinidades de 35 ‰, y por el nivel de 4 ppm de nitritos expuesto por Gross et al. (2004) que reducen el crecimiento sin afectar la supervivencia. Por lo tanto, a pesar de que en la semana 3 se contaron con valores máximos de 2.79 ppm de nitritos en T₀ (Figura 11), no se vieron afectados el crecimiento ni se produjeron mortalidades por afección al metabolismo energético de los langostinos (Li et al., 2019), y tampoco habría una depresión de la capacidad inmunológica de estos, haciéndolos susceptibles a infecciones por *Vibrio sp.* (Tseng, 2004). Por otro lado, los valores de nitritos son similares y hasta mejores a los niveles obtenidos en rangos de 2.1 a 3.2 ppm de N-NO₂ (Ray et al., 2011), y de 0.54 a 1.26 ppm de N-NO₂ (Krummenauer et al., 2014), ambos en sistemas de cultivo biofloc intensivos. No obstante, Van Wyk et al. (1999) recomiendan un valor óptimo de nitritos menor o igual a 1ppm como límite aceptable en el cultivo de langostinos.

Figura 11.

Nitritos promedio durante la prueba de crecimiento

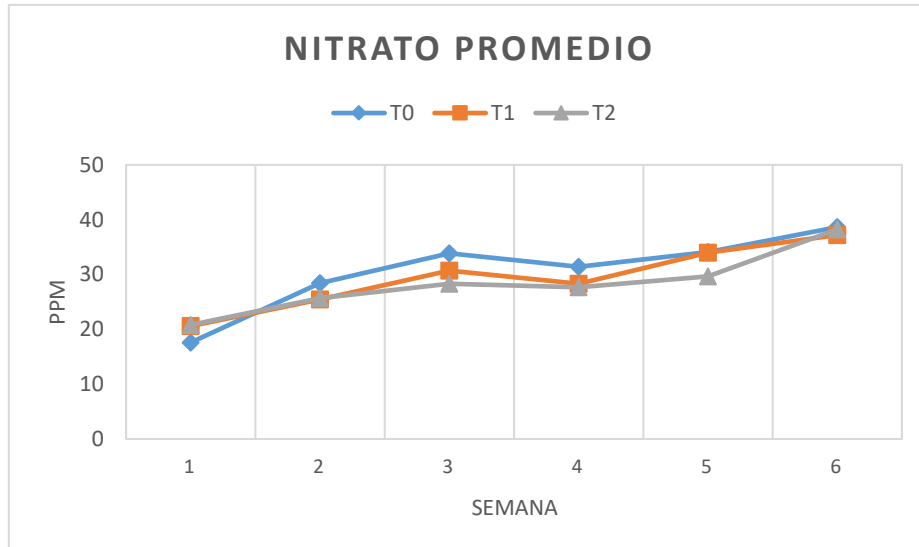


g. Nitratos (NO₃)

Los valores resultantes de nitratos en los tratamientos T₀, T₁ y T₂ fueron 30.03, 30.57 y 29.35 ppm equivalentes a 6.78, 6.90 y 6.63 ppm de N-NO₃, respectivamente. En la Figura 12, se puede observar también su incremento promedio conforme avanzaba el experimento desde 19.67 ppm en la semana 1 hasta 38.02 ppm en la semana 6. A pesar de que Van Wyk et al. (1999) mencionan que los nitratos no son tóxicos, y altas concentraciones como 200 ppm no genera mortalidades, no está claro si puede lograr afectar el crecimiento o la resistencia a enfermedades, por lo que se recomienda mantener este parámetro por debajo de 60 ppm, un umbral muy por encima a los valores del presente experimento. Así mismo, Tsai y Chen (2002) proponen un nivel de seguridad de nitratos de 232 ppm en cultivos estáticos de juveniles de *Penaeus monodon* con recambio de agua en salinidades de 35 ‰; y Krummenauer et al. (2014) obtuvieron concentraciones de nitratos entre 23.98 y 42.94 ppm en sistemas de cultivo biofloc de *Penaeus vannamei*.

Figura 12.

Nitratos promedio durante la prueba de crecimiento

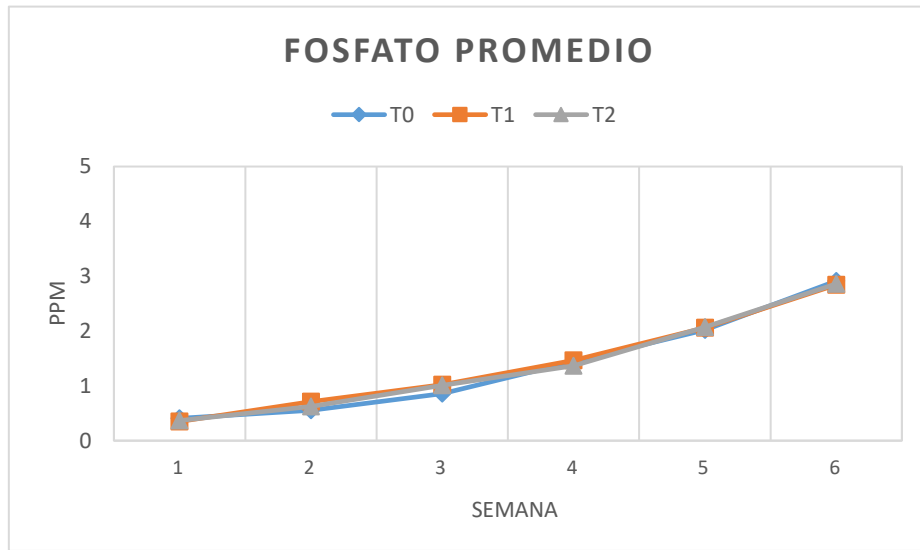


h. Fosfatos

El fósforo es un nutriente importante en el crecimiento de los organismos acuáticos, sin embargo, una mala administración de este en las dietas conlleva a un gran problema por contaminación de fosfatos en las aguas residuales provenientes de los cultivos (Montoya et al., 2000). Los fosfatos varían según el tipo de cultivo, por ejemplo, en cultivos de bajas densidades, se han obtenido concentraciones de 0.87 ppm (Krummenauer et al., 2011) y rangos de 0.45 a 0.55 ppm (Casillas et al., 2017) en sistemas de cultivo biofloc. También, se han registrado rangos de 1.80 a 5.18 ppm (Krummenauer et al., 2014) y de 10.91 a 13.11 ppm (Correira et al., 2014), en cultivos cero recambio con densidades medias; así como rangos de 29.4 a 39.9 ppm (Ray et al., 2011) y de 25.6 a 31.56 (Prangnell et al., 2016), en cultivos intensivos y superintensivos. Por lo tanto, los valores promedio de fosfatos en los tratamientos T₀, T₁ y T₂ de 1.36, 1.53 y 1.45 ppm, respectivamente, son bastante bajos y similares a los rangos definidos dentro de los sistemas con densidades medianas y bajas, teniendo en cuenta el aumento progresivo de este parámetro durante el presente estudio (Figura 13).

Figura 13.

Fosfatos promedio durante la prueba de crecimiento



4.2. Evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC del HSJC

Los parámetros productivos obtenidos del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.

*Parámetros productivos de los juveniles de *Penaeus vannamei* durante los 41 días experimentales en un SRA*

Parámetro	Tratamiento		
	T ₀ (Reemplazo 0%)	T ₁ (Reemplazo 50%)	T ₂ (Reemplazo 100%)
Supervivencia (%)	91.11 ± 3.85	91.11 ± 3.85	97.78 ± 3.85
Peso inicial (g)	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.00
Peso Final (g)	1.19 ± 0.16 ^a	1.13 ± 0.00 ^a	0.79 ± 0.02 ^b
Tasa de Crecimiento (g/d)	0.025 ± 0.004 ^a	0.024 ± 0.000 ^a	0.016 ± 0.001 ^b
Tasa de Crecimiento Específica (%)	5.04 ± 0.31	4.92 ± 0.01	4.04 ± 0.07

Factor de Conversión Alimenticia (FCA)	1.75 ± 0.12 ^a	1.98 ± 0.15 ^{ab}	2.25 ± 0.04 ^b
Tasa de Eficiencia Proteica (TEP)	1.66 ± 0.11 ^a	1.41 ± 0.10 ^b	1.29 ± 0.02 ^b

Los parámetros de Peso final (g), Tasa de Crecimiento (g/d), FCA y TEP fueron evaluados mediante la Prueba de Anderson-Darling y la Prueba de Bartlett, cumpliendo con los supuestos de mantener una distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, respectivamente, en cada uno de ellos. Por lo que se continuó con el ANOVA y la Prueba de Comparación de Tukey (Anexo III).

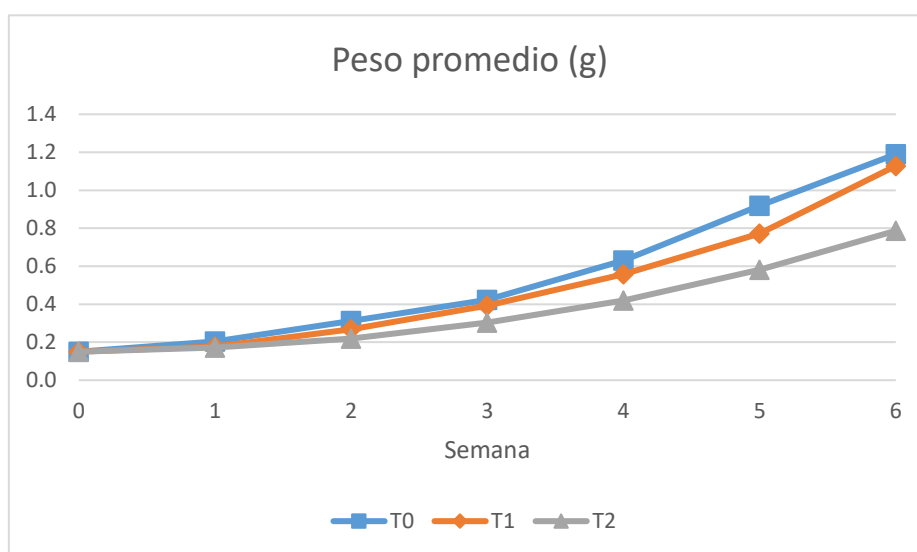
Por otro lado, los parámetros de Supervivencia (%) y Tasa de Crecimiento Específica (%) no cumplieron con los supuestos de distribución normal de errores y homogeneidad de varianzas, evaluados mediante la Prueba de Anderson-Darling y la Prueba de Bartlett, respectivamente, en cada uno de ellos. Por lo que se realizó la Prueba No Paramétrica de Kruskal-Wallis, previa transformación de datos mediante el algoritmo Arcoseno (Anexo III).

a. Peso final (g)

Los valores de peso aumentaron continuamente durante el ensayo de crecimiento, sin embargo, T₂ fue rezagándose a partir de la semana 2 (Figura 14), concluyendo al término de la semana 6, pesos finales de 1.19, 1.13 y 0.79g de los langostinos para los tratamientos T₀, T₁ y T₂, respectivamente, con valores significativamente mayores los tratamientos T₀ y T₁ en comparación con T₂. Quinto et al. (2017) incorporaron el 0, 4, 8 y 12% con un hidrolizado de tilapia en las dietas de post larvas de *Penaeus vannamei*, sin obtener diferencias significativas de peso final entre los tratamientos, asemejándose al comportamiento observado entre T₀ y T₁, donde se incluyeron el 0 y 14.5% de HSJC, respectivamente. No obstante, Niu et al. (2013) evaluaron la inclusión de un hidrolizado proteico de pescado en la dieta de post larvas de *P. vannamei*, obteniendo valores de peso final significativamente mayores al incluirlo en un 9, 18, 27 y 36% en la dieta en comparación con la dieta control (0%). Caso contrario a los resultados del presente estudio, que incluyó 14.5% (T₁) y 28% (T₂) del HSJC obteniendo menor peso conforme se incrementó su inclusión.

Figura 14.

Evaluación del peso promedio semanal durante la evaluación del reemplazo de la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC



b. Tasa de Crecimiento (g/d)

La Tasa de Crecimiento en los tratamientos T₀, T₁ y T₂ fueron 0.025, 0.024 y 0.016 g/d, respectivamente, siendo significativamente menor el T₂ en relación a T₀ y T₁, los que no mostraron diferencias significativas entre ellos, evidenciando casi un mismo crecimiento al reemplazar el 50% de la proteína de harina de pescado por el HSJC. Sin embargo, estos valores de crecimiento fueron menores a los esperados para la talla, así lo demostraron Gallardo et al. (2012) al presentar el valor de 0.04 g/d al reemplazar aproximadamente el 60% de harina de residuos de pescado por un hidrolizado de residuos de pescado en cultivos de langostino blanco durante 7 semanas.

c. Tasa de Crecimiento Específica (%)

La Tasa de Crecimiento Específico promedio fue de 5.04, 4.92 y 4.04 en los tratamientos T₀, T₁ y T₂, respectivamente, y al igual que la Tasa de Crecimiento (g/d), muestra un menor valor conforme aumenta el reemplazo de la proteína de harina de pescado por el hidrolizado, en particular en el tratamiento T₂. A pesar de esto, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, por lo tanto, la inclusión del hidrolizado no influye en la TCE. Sin embargo, Hlordzi et al. (2022) obtuvieron diferencias significativas en la inclusión de 1 a 4% de harina de hidrolizado proteico de pescado en dietas de langostino

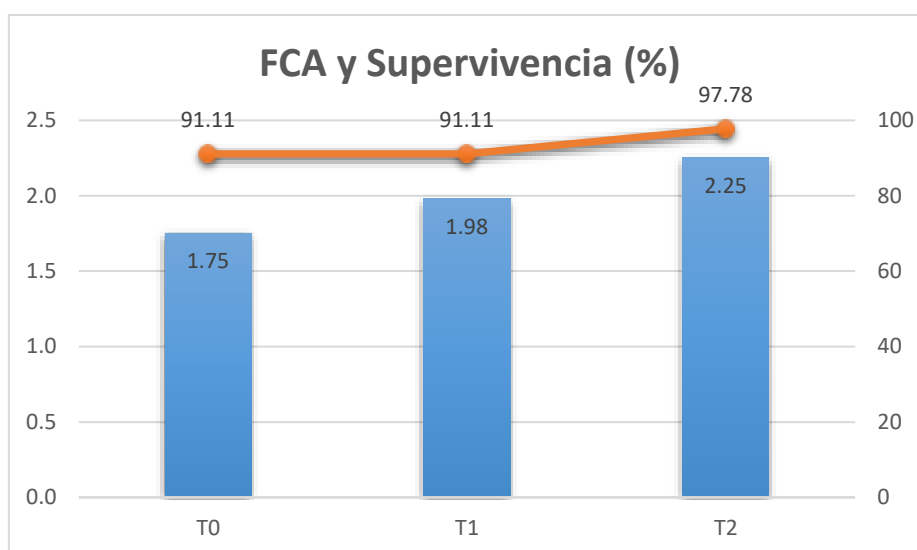
blanco, presentando valores de TCE de 3.75 a 4.26%, respectivamente, en individuos de 0.84g cultivados durante 8 semanas. Por lo que se evidencia el aumento de la TCE conforme incrementa el porcentaje de inclusión del hidrolizado, en contraste con los resultados del presente estudio, aunque este último, mantenga mayores valores de este parámetro.

d. Factor de Conversión Alimenticia (FCA)

Durante la prueba de crecimiento, el FCA tuvo valores de 1.75, 1.98 y 2.25 en los tratamientos T_0 , T_1 y T_2 , respectivamente, con diferencias significativas entre los tratamientos T_0 y T_2 , y una ligera diferencia a favor de T_0 frente T_1 . Estos resultados indican una mayor eficiencia en la utilización de una dieta basada en harina de pescado, y hasta en una con reemplazo parcial de proteínas (50%) por el hidrolizado, en comparación a una dieta con reemplazo total de proteínas (100%) por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa. Los resultados de FCA se encuentran por debajo a los observados por Quinto et al. (2017), con valores de 2.46 a 2.73, en cultivos de post larvas de langostino blanco, al incorporar hidrolizado proteico de pescado en 0, 4, 8 y 12% en las dietas, sin diferencias significativas entre sí, similar al performance del T_0 y T_1 . Por otro lado, Hernández et al. (2011) en un estudio de la capacidad del hidrolizado proteico de subproductos de atún para mejorar la calidad y digestibilidad de las dietas del langostino blanco, obtuvieron valores de FCA entre 1.33 y 2.09 sin diferencias significativas al incluir el hidrolizado en porcentajes continuos hasta un 10%; resultados similares a los tratamientos T_0 y T_1 , donde tampoco existen diferencias significativas. Por último, Nguyen et al. (2012) al estudiar el efecto del hidrolizado de cabeza de atún en el crecimiento de langostinos blancos, mediante dietas que incorporaban de forma separada y mixta las fracciones solubles e insolubles de un proceso de hidrólisis, presentan mejores resultados significativos con un FCA de 1.72 a 1.74 en las dietas con fracciones solubles en comparación al control (2.01); sin embargo, las dietas con fracciones insolubles y mixtas, obtuvieron valores de FCA significativamente altos (1.86 a 1.92) y no significativos (2.01 a 2.22), respectivamente, frente al tratamiento control, como lo demostrado en el presente estudio con el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa.

Figura 15.

*FCA y Supervivencia de juveniles de *Penaeus vannamei* al reemplazar la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC*



e. Supervivencia (%)

La supervivencia de los langostinos en la prueba de crecimiento no presentó diferencias significativas, a pesar de que el tratamiento T₂ sea mayor a los tratamientos T₀ y T₁, ambos iguales. Estos valores de supervivencia superan a los mencionados por Hernández et al. (2011), que puso a prueba un hidrolizado proteico de subproductos de atún durante su inclusión a niveles de 0, 2.5, 5, 7.5 y 10% en dietas basadas en harina porcina en langostino blanco, de peso inicial de 1.65g, obteniendo resultados de supervivencia de 83.3, 93.3, 96.7, 90 y 90%, respectivamente, sin obtener diferencias significativas con respecto al tratamiento control (0%), ni entre los tratamientos. Así mismo, Zhou et al. (2016) en un estudio que utiliza un hidrolizado de calamar o vieiras como suplemento en dietas de juveniles de langostino blanco (0.66 g de peso inicial), obtuvieron supervivencias de 82.5% para el tratamiento control (sin hidrolizado) y 95% (con hidrolizado), ambas por debajo de los resultados de supervivencia de la presente investigación, pero manteniendo la misma tendencia a tener mayores valores al incorporar hidrolizados en la dieta. Esta relación podría deberse a la importante presencia de péptidos de bajo peso molecular del hidrolizado, el cual se impacta positivamente en la respuesta inmune y resistencia a enfermedades, aumentando la supervivencia en los cultivos del langostino blanco (Novriadi et al. 2021).

f. Tasa de Eficiencia Proteica (TEP)

Los valores de TEP fueron 1.66, 1.41 y 1.29 en los tratamientos T₀, T₁ y T₂, respectivamente, siendo significativamente mayor el T₀ en relación a T₁ y T₂, los que no mostraron diferencias significativas entre ellos, evidenciando un menor crecimiento por proteína ingerida al reemplazar el 50% y 100% de la proteína de harina de pescado por el HSJC. Los resultados de TEP se asemejan a los observados por Hernández et al. (2011), que mostraron valores de 1.28 a 1.77 al incluir bajos porcentajes de un hidrolizado proteico de subproductos de atún en las dietas, siendo las incorporaciones menores al 5% significativamente mayores en crecimiento y eficiencia alimentaria y proteica. Estos resultados que indican una mayor eficiencia en la utilización de proteínas en la dieta basada en harina de pescado, en comparación a una dieta con reemplazo parcial (50%) y total (100%) de proteínas por el HSJC, pueden asociarse al desequilibrio de aminoácidos esenciales que componen la proteína. Así lo indican Hu et al. (2008) al referirse que las disminuciones de la TEP son afectadas por la calidad de las proteínas en dietas de juveniles de *P. vannamei*.

4.2.1 Perfil de aminoácidos

El reemplazo de la proteína de harina de pescado por la proteína del HSJC como objetivo de la investigación, conlleva a considerar la composición de los aminoácidos en la proteína de ambos ingredientes. En la tabla 7, se muestran los porcentajes de los aminoácidos esenciales de cada ingrediente, siendo el HSJC el que contiene menores valores de aminoácidos limitantes como son la metionina y lisina, en comparación con la harina de pescado. Estas diferencias en los niveles de metionina y lisina se reflejan en la composición de los mismos aminoácidos en las dietas experimentales (Tabla 8), siendo T₂ la dieta con menor porcentaje de aminoácidos limitantes. Los porcentajes de lisina en la dieta de todos los tratamientos superaron los requerimientos nutricionales óptimos de este aminoácido, ya que son valores mayores al 1.64% recomendado por Xie et al. (2012) para dietas de *Penaeus vannamei* donde evidenciaron un mejor performance productivo. Sin embargo, en el caso de la metionina, las dietas de T₀ y T₁ superaron el óptimo requerimiento nutricional de 0.6% en la dieta para este aminoácido, según lo observado por Lin et al. (2014), para obtener mejores ganancias de peso en *P. vannamei*, a excepción de la dieta del T₂ que apenas llegó a este mínimo recomendado, pudiendo ser este el motivo del retraso del crecimiento y disminución de la eficiencia alimenticia (NRC, 2011). Como bien lo mencionan Machado et al. (2023) al evaluar los efectos de alimentar a langostinos *Penaeus vannamei* con niveles diferentes de un dipéptido de metionina, observaron mejoras en el crecimiento (TCE), FCA, eficiencia alimenticia y supervivencia al aumentar gradualmente los porcentajes de inclusión de dicho

aminoácido. Por lo tanto, la deficiencia del aminoácido metionina en la dieta T₂ puede considerarse como causal del bajo desempeño de los parámetros productivos evaluados en comparación con las dietas de T₀ y T₁, ya que el desequilibrio de aminoácidos conlleva a una mala utilización de la proteína disponible, reduciendo el crecimiento y la eficiencia del alimento (Yang et al., 2009).

Es importante mencionar que, inicialmente, el HSJC fue elaborado con una composición proteica mayor al 70%, determinado en la etapa previa al secado. Sin embargo, según la Ing. Rosario Sunohara Gómez, Jefa de Investigación y Desarrollo de la Pesquera Hayduk S.A., proveedora del ingrediente, durante este proceso se añadieron grandes cantidades de maltodextrina, un polisacárido (carbohidratos) producto de la hidrólisis enzimática de un almidón, para obtener una harina que pueda mezclarse con los demás ingredientes durante la elaboración de las dietas experimentales de la presente investigación. Esta adición de carbohidratos en el ingrediente disminuyó el porcentaje de proteína, y en consecuencia, de los aminoácidos en su composición (Tabla 7). Dicho suceso da lugar a una menor proporción de aminoácidos limitantes del HSJC, y su efecto negativo en las dietas donde se incorporaron, discutido en el párrafo anterior.

Por otro lado, los bajos rendimientos productivos del T₂, también podrían explicarse por la facilidad de absorción intestinal de nutrientes que caracteriza a las proteínas hidrolizadas, al poseer aminoácidos libres y péptidos de bajo peso molecular (Cardoza et al., 2021; Nguyen et al., 2012; Nikoo, 2021; Quinto et al., 2017), llegando a ser perjudicial para el desarrollo del langostino al incluirlo en niveles cercanos o superiores al 30% de la dieta, y generando depresiones en el crecimiento (Niu et al., 2013; Valle et al., 2014). Por lo tanto, este efecto involucraría un acelerado metabolismo y absorción de las grandes cantidades de aminoácidos libres, péptidos y tripéptidos aportados por el HSJC en la dieta T₂, que habrían saturado los mecanismos de transporte intestinal, sin dar lugar a una correcta retención y síntesis de proteínas, concluyendo en una absorción desequilibrada de nutrientes y un crecimiento inferior (Niu et al., 2013). Dicho efecto lo corroboran Siddik et al. (2020) al mencionar que las altas inclusiones de los hidrolizados en las dietas reducen la capacidad de anabolismo y afecta el consumo del alimento, debido a la oxidación que sufren los aminoácidos que no pueden almacenarse en los tejidos. Todo esto respaldaría las diferencias significativas encontradas en los parámetros productivos en el tratamiento T₂ frente a los tratamientos T₀ y T₁.

Un hecho importante, durante el presente estudio, es que se observó una mayor atracción hacia las dietas con inclusión de HSJC, esto se debe a los pequeños compuestos nitrogenados como aminoácidos y péptidos característicos de los hidrolizados, los cuales al solubilizarse estimulan el comportamiento alimentario de los crustáceos, acortando el tiempo que estos tardan en encontrarlo y consumirlo (Solares et al., 2021). Una situación similar fue observada por Suresh et al. (2011), donde se evaluaron la atracción y palatabilidad de diferentes dietas, entre ellas el hidrolizado de pescado, considerándolo al final como un buen atrayente con buena palatabilidad, pero no el mejor a comparación de la harina de krill. A pesar de lo expuesto, el HSJC podría haber perdido nutrientes por lixiviación de sus grandes cantidades de aminoácidos libres y oligopéptidos, afectando el consumo total del alimento y el desenvolvimiento productivo en la investigación. Así lo mencionan Guo et al. (2019) al determinar que, a mayores niveles de la inclusión de hidrolizados en la dieta, aumentan las posibilidades de lixiviación de la misma, disminuyendo los rendimientos productivos, y concluyendo que la lixiviación de nutrientes de la dieta es considerada un beneficio desde el punto de vista de la atracción, pero una desventaja desde el punto de vista de la entrega de nutrientes. Por lo tanto, todo esto lleva a considerar que el tratamiento T₂ fue más susceptible a la lixiviación de nutrientes en comparación a los tratamientos T₀ y T₁, a pesar de ser más atrayente y con mejor palatabilidad.

4.3. Evaluación del Coeficiente de Digestibilidad del HSJC

En el Anexo IV, se presentan los porcentajes de óxido de cromo de las dietas de Referencia y Prueba, así como los porcentajes óxido de cromo de las heces correspondientes a los acuarios donde se les proporcionó cada una de las dietas mencionadas.

4.3.1. Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de las dietas y del HSJC

El Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) indica la cantidad que se digiere y absorbe de una dieta o ingrediente, ya que no todos sus componentes o nutrientes se digieren por igual. El CDA de la Dieta de Referencia (basal) con el cual se determinó un CDA del HSJC de 51.93% se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16.

Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de la dieta y del HSJC

Dieta / Ingrediente	CDA (%)
----------------------------	----------------

Dieta de Referencia	70.33
HSJC	51.93

Si bien el CDA del HSJC es superior a los valores de 38.81 y 38.28% determinados por Qiu et al. (2017) al evaluar el CDA de un hidrolizado de calamar y un hidrolizado de vieiras, respectivamente, cuenta con un valor similar a los obtenidos por Terrazas et al. (2010) para la harina de sardina (70.2% PC), harina de atún (60.5% PC) y harina de cangrejo rojo de 52.2, 52.6 y 51.6%, respectivamente. También tiene valores de CDA cercanos a la harina de cabeza de langostino y harina de vísceras de calamar de 50.5 y 51.6%, respectivamente, al evaluar la digestibilidad de diversos ingredientes marinos en *Penaeus vannamei*. Sin embargo, el 51.93% de CDA del HSJC es bajo en comparación a valores obtenidos en la harina de pescado, carne y huesos, cerdo, soya y levadura, los cuales superaron el 70% de CDA (Liu et al., 2013).

La baja digestibilidad del HSJC puede estar relacionada a la cantidad y composición química de los carbohidratos que contiene. Así lo observaron Yang et al. (2009) al evaluar la digestibilidad de diversos ingredientes de origen vegetal y animal como fuente proteica en dietas de juveniles de *Penaeus vannamei*, concluyendo que los ingredientes con mayor contenido de almidón (carbohidratos) presentaron valores de CDA menores al 80%. Esta tendencia de resultados coincide con la incorporación de maltodextrina durante la elaboración del HSJC, la cual habría afectado la digestibilidad del ingrediente en la presente investigación.

4.3.2. Proteína digestible

La proteína digestible del HSJC se muestra en la Tabla 17, demostrando ser baja en términos de digestibilidad.

Tabla 17.

Proteína digestible

Nutriente	Coefficiente de Digestibilidad
Proteína (%)	30.31

El valor de proteína digestible obtenido del HSJC se encuentra por debajo de otros valores determinados en hidrolizados evaluados por Qiu et al. (2017), donde obtuvieron valores de proteínas digestibles de 66.08% y 71.41% en un hidrolizado de calamar y un hidrolizado de vieiras, respectivamente. También, Hernández et al. (2011), calcularon el valor de 83.6% de proteína digestible al evaluar la digestibilidad de un hidrolizado de subproductos de atún en *Penaeus vannamei*. Más aún, al comparar este resultado de proteína digestible con otros ingredientes para dietas de *Penaeus vannamei*, se observa ser un valor muy por debajo al 88.84% de la harina de soya fermentada (Van Nguyen et al. 2018), al 93.0 y 96.9% de los productos de soya en un estudio de Cruz et al. (2009), y a los valores de 45.9% de harina de pluma, 83.3% de harina de subproductos de tilapia, 59.7% de harina de pescados marinos, 78.9% harina de subproductos de salmón y 84.3% harina de krill, determinados por Vieira et al. (2022).

Si bien la digestibilidad de las proteínas depende de la capacidad de hidrólisis de los aminoácidos que la componen (NRC, 2011), también es afectada negativamente por un mal método de procesamiento, inhibidores de enzimas, formulaciones inadecuadas de ingredientes y la presencia de proteínas no disponibles, siendo esta última influenciada por su composición química (Yang et al., 2009). Dicho esto, podemos suponer que el bajo valor de proteína digestible del HSJC se debe a la menor proporción de aminoácidos en su composición, en particular de metionina, reduciendo su disponibilidad en el ingrediente (Liu et al., 2013). Así lo indican Vieira et al. (2022), al observar una menor eficiencia en el crecimiento de *Penaeus vannamei* durante la determinación de la proteína digestible en ingredientes con menor contenido de proteínas y aminoácidos, o alto contenido de proteínas, pero un perfil desequilibrado de aminoácidos. Por otro lado, Siddik et al. (2020) mencionan que la reducción significativa de proteína digestible durante la utilización de hidrolizados se debe a la disponibilidad de cantidades excesivas de aminoácidos libres que alteran el proceso normal de digestión y el metabolismo de las dietas ingeridas, resultando en una mala digestibilidad. Carvalho et al. (2016) reportaron menores tasas de crecimiento y mayores valores de FCA en *Penaeus vannamei* alimentados con ingredientes de proteína digestible menor a 60%, incluyendo una harina de maíz, de carne y huesos, y de hidrolizado de plumas; a diferencia de la harina de pescado y de subproductos de cerdo, ambos con proteína digestible mayor al 60%. Ambas causales afectan la digestibilidad proteica del HSJC, influenciando negativamente en los parámetros productivos evaluados en el presente estudio.

El presente estudio demuestra un posible reemplazo del 50% de la proteína de la harina de pescado por la proteína del HSJC, sin afectar el crecimiento (TCE), FCA y supervivencia en juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*), y teniendo en cuenta el bajo CDA (51.93%) y proteína digestible (30.31%) del ingrediente. El alto contenido de aminoácidos libres y otros compuestos de muy bajo peso molecular, el bajo porcentaje proteico y desequilibrada composición de aminoácidos del HSJC, hace perjudicial su incorporación en el reemplazo del 100% de la proteína de la harina de pescado, influyendo negativamente en los parámetros productivos y digestibilidad de las dietas.

V. CONCLUSIONES

- El reemplazo del 50% de la proteína de harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en la dieta no afecta los parámetros productivos de TCE, FCA y supervivencia, en juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).
- El reemplazo total de la proteína de harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en la dieta ocasiona un mal desempeño de los parámetros productivos como un alto FCA y bajo crecimiento en juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).
- La harina de hidrolizado de subproductos de jurel y caballa tuvo un Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de 51.93% y una proteína digestible de 30.31%, muy por debajo de otros hidrolizados e ingredientes fuente de proteínas en las dietas de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el reemplazo de la proteína de la harina de pescado por un hidrolizado de subproductos de jurel y caballa con igual o mayor porcentaje de proteínas en su composición que la harina de pescado en la dieta de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).
- Evaluar dietas con porcentajes de reemplazo de proteína entre el 0 y 50% de la harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en la dieta de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*), para una posible reducción de costos en la elaboración de las dietas obteniendo los mismos parámetros productivos.
- Realizar estudios de digestibilidad que comparen el Coeficiente de Digestibilidad Aparente (CDA) de materia seca, proteínas, lípidos, carbohidratos y energía del hidrolizado de subproductos de jurel y caballa con otros ingredientes.
- Evaluar la palatabilidad de las dietas con diferentes reemplazos de proteína de la harina de pescado por el hidrolizado de subproductos de jurel y caballa en juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).
- Evaluar el reemplazo de la proteína de la harina de pescado por un hidrolizado de subproductos de jurel y caballa, proveniente de un proceso de deshidratado que no altere su composición química proximal, en la dieta de juveniles de langostino blanco (*Penaeus vannamei*).

VII. REFERENCIAS

- Abdelrahman, H. A., Abebe, A. y Boyd, C. E. (2018). Influence of variation in water temperature on survival, growth and yield of Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* in inland ponds for low-salinity culture. *Aquaculture Research*, 50(2), 658–672. doi:10.1111/are.13943
- Audelo-Naranjo, Juan Manuel, Martínez-Córdova, Luis Rafael, Gómez-Jiménez, Silvia y Voltolina, Domenico. (2012). Intensive culture of *Penaeus vannamei* without water exchange and with an artificial substrate. *Hidrobiológica*, 22(1), 1-7. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972012000100001&lng=es&tlng=en.
- Ayisi, C. L., Hua, X., Apraku, A., Afriyie, G. y Kyei, B. A. (2017). Recent Studies Toward the Development of Practical Diets for Shrimp and Their Nutritional Requirements. *HAYATI Journal of Biosciences*, 24(3), 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2017.09.004>
- Barboza, C. (2016). *Determinación de la digestibilidad de nutrientes y la energía digestible de la torta de soya (Glycine max) en juveniles de gamitana (Colossoma macropomum)*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2652>
- Bett, C. y Vinatea, L. (2009). Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Penaeus vannamei* oxygen consumption rate. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(4), 305–314. <https://www.scielo.br/j/bjoce/a/Yd4TBjcJTYDCs7LmC8mzmVp/?format=pdf&lang=en>
- Boyd, C. (2017). *Comprendiendo las variables de calidad del agua para la acuicultura*. Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/comprendiendo-las-variables-de-calidad-del-agua-para-la-acuicultura/>

- Bückle, L. Fernando, Barón, Benjamín y Hernández, Mónica. (2006). Osmoregulatory capacity of the shrimp *Penaeus vannamei* at different temperatures and salinities, and optimal culture environment. *Revista de Biología Tropical*, 54(3), 745-753. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-7744200600030005&lng=en&tlng=en.
- Cañas, R. (1998). *Alimentación y nutrición animal*. Pontificio Universidad Católica de Chile. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/53614>
- Cárdenas, J. V., Gálvez, A. O., Brito, L. O., Galarza, E. V., Pitta, D. C. y Rubin, V. V. (2015). Assessment of different levels of green and brown seaweed meal in experimental diets for whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*, Boone) in recirculating aquaculture system. *Aquaculture International: Journal of the European Aquaculture Society*, 23(6), 1491–1504. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9899-2>
- Cardoza Ramirez, A., Guerra Espinoza, M. y Palomino Ramos, A. (2021). Uso de hidrolizados de pescado en la acuicultura: una revisión de algunos resultados beneficiosos en dietas acuícolas. *Manglar*, 18(2): 215-222. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.029>
- Carranza, E., Velásquez, R. y Rivas, A. (2018). Análisis de la proteína hidrolizada extraída del tejido de la curvina y la tilapia en el alimento del camarón. *Revista Ciencia Y Tecnología*, (22), 23–36. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i22.6437>
- Carvalho, R., Ota, R., Kadry, V., Tacon, A. y Lemos, D. (2016). Apparent digestibility of protein, energy and amino acids of six protein sources included at three levels in diets for juvenile white shrimp *Penaeus vannamei* reared in high performance conditions. *Aquaculture (Amsterdam, Netherlands)*, 465, 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.010>
- Casillas-Hernández, R., Nolasco-Soria, H., García-Galano, T., Carrillo-Farnes, O. y Páez-Osuna, F. (2007). Water quality, chemical fluxes and production in semi-intensive Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) culture ponds utilizing two different feeding strategies. *Aquacultural Engineering*, 36(2), 105–114. doi:10.1016/j.aquaeng.2006.09.001

- Chakravarty, M., Ganesh, P., Amarnath, D., Sudha, B. y Babu, T. (2016). Spatial variation of water quality parameters of shrimp (*Penaeus vannamei*) culture ponds at Narsapurapupeta, Kajuluru and Kaikavolu villages of East Godavari district, Andhra Pradesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(4), 390-395. <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2016/vol4issue4/PartE/4-4-35-286.pdf>
- Chávez Arias, J. (2019). *Gestión por proceso para el mejoramiento de la producción de conserva de pescado de la empresa pesquera HAYDUK S.A.* [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Santa]. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-juliaca/medio-ambiente/49450-sassssssssssssss/11373687>
- Cheng, W., Liu, C.-H. y Kuo, C.-M. (2003). Effects of dissolved oxygen on hemolymph parameters of freshwater giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture*, 220(1-4), 843–856. doi:10.1016/s0044-8486(02)00534-3
- Cho, C., Slinger, S. y Bayley, H. (1982). Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 73(1), 25–41. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(82\)90198-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90198-5)
- Chuquipoma Aguilera, A. (2020). *Parámetros de calidad del agua entre tres fuentes de abastecimiento, para el cultivo de Penaeus vannamei (boone, 1931), en agua dulce, en la empresa Ecoacuicola S.A.C. Piura, Perú.* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2463/IPES-CHU-AGU-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cifuentes, R., Gonzáles, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P. y Habit, E. (2012). Relación longitud – peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (Cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana*, 75(2), 102. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/gayana/v76s1/art09.pdf>
- Correia, E. S., Wilkenfeld, J. S., Morris, T. C., Wei, L., Prangnell, D. I. y Samocha, T. M. (2014). Intensive nursery production of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. *Aquacultural Engineering*, 59, 48–54. doi:10.1016/j.aquaeng.2014.02.002

- Cruz-Suárez, L. E., Tapia-Salazar, M., Villarreal-Cavazos, D., Beltran-Rocha, J., Nieto-López, M. G., Lemme, A. y Ricque-Marie, D. (2009). Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Penaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 292(1-2), 87–94. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.03.026
- Da Costa, F., Gomes, B., Pereira, S. y Arruda, M. (2016). Influence of stocking density on the behaviour of juvenile *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture Research*, 47(3), 912–924. <https://doi.org/10.1111/are.12550>
- Decamp, O., Cody, J., Conquest, L., Delanoy, G. y Tacon, A. G. J. (2003). Effect of salinity on natural community and production of *Penaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems. *Aquaculture Research*, 34(4), 345–355. doi:10.1046/j.1365-2109.2003.00842.x
- De, D., Sandeep, K. P., Kumar, S., Raja, R. A., Mahalakshmi, P., Sivaramakrishnan, T., Ambasankar, K. y Vijayan, K. K. (2020). Effect of fish waste hydrolysate on growth, survival, health of *Penaeus vannamei* and plankton diversity in culture systems. *Aquaculture*, 735240. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735240
- Gallardo, P., Gaxiola, G., Soberano, S., Taboada, J. G., Pérez, M., Rosas, C., Cuzón, G., Espinoza, G. y Sotelo, A. (2012). Nutritive value of diets containing fish silage for juvenile *Penaeus vannamei* (Bonne, 1931). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(11), 2320–2325. doi:10.1002/jsfa.5632
- García Torres, B. (2021) *Viabilidad nutricional de la harina de cabeza de camarón en reemplazo de harina de pescado en dietas para Penaeus vannamei*. [Tesis de titulación, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16580>
- García-Pulido, D., Gallego-Alarcón, I., Díaz-Delgado, C., Fall, C. y Burrola-Aguilar, C. (2011). Evaluación de un sistema de recirculación y acondicionamiento de agua en truchicultura. *Tecnología y ciencias del agua*, 2(2), 83-96. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000200006&lng=es&tlng=es.

- García-Sifuentes, C., Scheuren-Acevedo, S. y Zamorano-Apodaca, J. (2020). Explorando diferentes subproductos considerados como residuos por la industria pesquera en México. *Biocencia*, 22(2), 61-69. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v22i2.1246>
- Gross, A., Abutbul, S. y Zilberg, D. (2004). Acute and Chronic Effects of Nitrite on White Shrimp, *Penaeus vannamei*, Cultured in Low-Salinity Brackish Water. *Journal of the World Aquaculture Society*, 35(3), 315–321. doi:10.1111/j.1749-7345.2004.tb00095.x
- Gucic, M. (2008). *Digestibilidad in vivo de alimentos comerciales y experimentales para camarón blanco (Penaeus vannamei) cultivado a diferentes salinidades*. [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.]. http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/205/gucic_m.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guillaume, J. y Choubert, G. (2004). *Fisiología digestiva y digestibilidad de los nutrientes en los peces. Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Editorial Aedos S.A.
- Gunathilaka, G.L.B.E. (2020). Nutritional and immunological studies of red seabream (*Pagrus major*) and Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) fed marine protein hydrolysates. [Tesis de doctorado, Jeju National University]. <https://oak.jejunu.ac.kr/bitstream/2020.oak/23246/2/Nutritional%20and%20immunological%20studies%20of%20red%20seabream%20%28Pagrus%20major%29%20and%20Pacific%20white%20shrimp%20%28Litop.pdf>
- Guo, J., Hussain, A., Tacon, A., Moser, J., Holcomb, J., Salze, G. y Davis, D. (2020). Cholesterol requirement and phytosterols efficiency in semi-purified diets of juvenile Pacific white shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 26(4), 1231–1243. <https://doi.org/10.1111/anu.13079>
- Guo, J., Swanepoel, A., Reis, J., Salze, G., Rhodes, M. y Davis, D. (2019). Hydrolysed salmon meal as a replacement for salmon meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*. doi:10.1111/anu.12999
- Hamidoghli, A., Won, S., Aya, F., Yun, H., Bae, J., Jang, I. y Bai, S. (2020). Dietary lipid requirement of whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* juveniles cultured in biofloc system. *Aquaculture Nutrition*, 26(3), 603–612. <https://doi.org/10.1111/anu.13021>

- Hamidoghli, A., Yun, H., Shahkar, E., Won, S., Hong, J., & Bai, S. C. (2018). Optimum dietary protein-to-energy ratio for juvenile whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei*, reared in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 49(5), 1875–1886. <https://doi.org/10.1111/are.13643>
- Haryati, Z. (2014). Effect of dietary carbohydrate levels and feeding frequencies on growth and carbohydrate digestibility by white shrimp *Penaeus vannamei* under laboratory conditions. *Journal of aquaculture research & development*, 05(06). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000274>
- Hernández Gurrola, J. (2016). *Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco Penaeus vannamei, en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado*. [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.]. <https://cibnor.repositorio.institucional.mx/jspui/handle/1001/42>
- Hernández, C., Olvera-Novoa, M. A., Smith, D. M., Hardy, R. W. y Gonzalez-Rodriguez, B. (2011). Enhancement of shrimp *Penaeus vannamei* diets based on terrestrial protein sources via the inclusion of tuna by-product protein hydrolysates. *Aquaculture*, 317(1-4), 117–123. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.03.041
- Hleap Zapata, J. I. y Gutiérrez Castañeda, C. A. (2017). Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. -Una revisión. *Acta Agronómica*, 66(3), 311–322. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52595>
- Hlordzi, V., Wang, J., Kuebutornye, F., Yang, X., Tan, B., Li, T., Cui, Z., Lv, S., Lao, T. y Chi, S. (2022). Hydrolysed fish protein powder is better at the growth performance, hepatopancreas and intestinal development of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture Reports*, 23, 101025. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101025>
- Hu, Y., Tan, B., Mai, K., Ai, Q., Zheng, S. y Cheng, K. (2008). Growth and body composition of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed different ratios of dietary protein to energy. *Aquaculture Nutrition*, 14(6), 499–506. doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00555.x

- Iñarra, B., Bald, C., San Martín, D., Orive, M., Cebrián, M. y Zufía, J. (2018). *Guía para la valorización de subproductos de la acuicultura*. AZTI. https://www.azti.es/wp-content/uploads/2018/12/AZTI_guia_VALACUI101218online.pdf
- Jana, P., Prasad Sahu, N., Sardar, P., Shamna, N., Varghese, T., Dharmendra Deo, A., Harikrishna, V., Paul, M., Panmei, H., Gupta, G., Nanda, C. y Krishna, G. (2021). Dietary protein requirement of white shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) juveniles, reared in inland ground water of medium salinity. *Aquaculture Research*, 52(6), 2501–2517. <https://doi.org/10.1111/are.15100>
- Kosseva, M. (2013). Sources, Characterization, and Composition of Food Industry Wastes. *Food Industry Wastes*, 37–60. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-391921-2.00003-2>
- Krummenauer, D., Peixoto, S., Cavalli, R. O., Poersch, L. H. y Wasielesky, W. (2011). Superintensive Culture of White Shrimp, *Penaeus vannamei*, in a Biofloc Technology System in Southern Brazil at Different Stocking Densities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(5), 726–733. doi:10.1111/j.1749-7345.2011.00507.x
- Krummenauer, D., Samocha, T., Poersch, L., Lara, G. y Wasielesky, W. (2014). The Reuse of Water on the Culture of Pacific White Shrimp, *Penaeus vannamei*, in BFT System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(1), 3–14. doi:10.1111 /jwas.12093
- Lara, G., Krummenauer, D., Abreu, P. C., Poersch, L. H. y Wasielesky, W. (2016). The use of different aerators on *Penaeus vannamei* biofloc culture system: effects on water quality, shrimp growth and biofloc composition. *Aquaculture International*, 25(1), 147–162. doi:10.1007/s10499-016-0019-8
- Lee, C. y Lee, K. (2018). Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* in three different growth stages. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0105-0>
- Li, Z. S., Ma, S., Shan, H. W., Wang, T. y Xiao, W. (2019). Responses of hemocyanin and energy metabolism to acute nitrite stress in juveniles of the shrimp *Penaeus vannamei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 186, 109753. doi:10.1016/j.ecoenv.2019.109753

- Li, E., Wang, X., Chen, K., Xu, C., Qin, J. y Chen, L. (2017). Physiological change and nutritional requirement of Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* at low salinity. *Reviews in Aquaculture*, 9(1), 57–75. <https://doi.org/10.1111/raq.12104>
- Liang, Z., Liu, R., Zhao, D., Wang, L., Sun, M., Wang, M. y Song, L. (2016). Ammonia exposure induces oxidative stress, endoplasmic reticulum stress and apoptosis in hepatopancreas of pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Fish & Shellfish Immunology*, 54, 523–528. doi:10.1016/j.fsi.2016.05.009
- Lin, Y.-C. y Chen, J.-C. (2001). Acute toxicity of ammonia on *Penaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259(1), 109–119. doi:10.1016/s0022-0981(01)00227-1
- Lin, Y.-C. y Chen, J.-C. (2003). Acute toxicity of nitrite on *Penaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 224(1-4), 193–201. doi:10.1016/s0044-8486(03)00220-5
- Lin, H. Z., Guo, Z., Yang, Y., Zheng, W. y Li, Z. J. (2004). Effect of dietary probiotics on apparent digestibility coefficients of nutrients of white shrimp *Penaeus vannamei* Boone. *Aquaculture Research*, 35(15), 1441–1447. doi:10.1111/j.1365-2109.2004.01169x
- Lin, H., Chen, Y., Niu, J., Zhou, C., Huang, Z., Du, Q. y Zhang, J. (2014). Dietary methionine requirements of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, of three different sizes. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*. <http://www.siamb.org.il/>
- Liu, X.-H., Ye, J.-D., Kong, J.-H., Wang, K. y Wang, A. (2013). Apparent Digestibility of 12 Protein-Origin Ingredients for Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. *North American Journal of Aquaculture*, 75(1), 90–98. doi:10.1080/15222055.2012.716019
- Machado, M., Fernández-Boo, S., Teixeira, C., Viegas, M., Serradeiro, R., Dias, J., Costas, B. y Masagounder, K. (2023). DL-metionil-DL-metionina como fuente eficiente de metionina para promover el rendimiento zootécnico y las vías relacionadas con la metionina en el camarón patiblanco (*Penaeus vannamei*). *Revista Británica de Nutrición*, 130 (4), 616-632. doi:10.1017/S0007114522003579

- Ministerio de la Producción. (2023). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2022*. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oe-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/1116-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2022>
- Montero-Barrantes, M. (2021). Hidrolizados proteicos a partir de subproductos de la industria pesquera: obtención y funcionalidad. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 681-699. <https://dx.doi.org/10.15517/am.v32i2.41437>
- Montoya, R. A., Lawrence, A., Grant, W. y Velasco, M. (2000). Simulation of phosphorus dynamics in an intensive shrimp culture system: effects of feed formulations and feeding strategies. *Ecological Modelling*, 129(2-3), 131–142. doi:10.1016/s0304-3800(00)00230-1
- Muzaifa, M., Safriani, N. y Zakaria, F. (2012). Production of protein hydrolysates from fish by-product prepared by enzymatic hydrolysis. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 5 (1), 36 – 39. http://www.bioflux.com.ro/docs/AACL_5.1.8.pdf
- National Research Council. (2011). *Nutrients requeriments of fish and shrimp*. National academy press.
- Nguyen, H., Babacar, B., Randriamahatody, Z., Donnay-Moreno, C., Moreau, J., Tran, L. y Berge, J.P. (2011). Enzymatic hydrolysis of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) by-products using Protamex protease. *Food Technol Biotech*, 49 (1), 48 – 55. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00030/14142/14042.pdf>
- Nguyen, H., Pérez-Gálvez, R. y Bergé, J. (2012). Effect of diets containing tuna head hydrolysates on the survival and growth of shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 324 – 325, 127 – 134. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.014>
- Nicovita. (2020). Nicovita Classic Camarón. <https://nicovita.com/wp-content/uploads/2020/07/FT-NICOVITA-CLASSIC-CAMARON.pdf>
- Nikoo, M. (2021). Effective valorization of aquaculture by-products: bioactive peptides and their application in aquafeed. *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products*, 579–590. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824044-1.00034-9>

- Niu, J., Zhang, Y., Liu, Y., Tian, L., Lin, H., Chen, X. y Liang, G. (2013). Effects of graded replacement of fish meal by fish protein hydrolysate on growth performance of early post-larval Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone). *Journal of Applied Animal Research*, 42(1), 6–15. doi:10.1080/09712119.2013.795897
- Novriadi, R., Ilham, I., Roigé, O. y Segarra, S. (2021). Effects of dietary nucleotides supplementation on growth, total haemocyte count, lysozyme activity and survival upon challenge with *Vibrio harveyi* in pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Reports*, 21, 100840. doi:10.1016/j.aqrep.2021.100840
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Penaeus vannamei*. In *Culture aquatic species fact sheets*. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_whitelegshrimp.htm
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *El estado mundial de la pesca y acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Osorio, V. y Llerena, A. (2018). Producción y caracterización bioquímica de hidrolizado enzimático elaborado a partir de los residuos de la pesca. *Alternativas*, 19(2), 97-106. <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v19i2.240>
- Pan, L.-Q., Zhang, L.-J. y Liu, H.-Y. (2007). Effects of salinity and pH on ion-transport enzyme activities, survival and growth of *Penaeus vannamei* postlarvae. *Aquaculture*, 273(4), 711–720. doi:10.1016/j.aquaculture.2007.07.218
- Perea, C., Garcés, Y., Morales, Y., Jiménez, M., Hoyos, J. y Vivas, N. (2021). Digestibilidad de hidrolizados enzimáticos de vísceras de origen animal en *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 1-13. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v.n.1606>
- Prangnell, D. I., Castro, L. F., Ali, A. S., Browdy, C. L., Zimba, P. V., Laramore, S. E. y Samocha, T. M. (2016). Some Limiting Factors in Superintensive Production of Juvenile Pacific White Shrimp, *Penaeus vannamei*, in No-water-exchange, Biofloc-dominated Systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(3), 396–413. doi:10.1111/jwas.12275

- Qiu, X., Nguyen, L. y Davis, D. A. (2017). Apparent digestibility of animal, plant and microbial ingredients for Pacific white shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 24(3), 930–939. doi:10.1111/anu.12629
- Quinto, B., Albuquerque, J., Bezerra, R., Peixoto, S. y Soares, R. (2017). Replacement of fishmeal by two types of fish protein hydrolysate in feed for postlarval shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 24(2), 768-776. doi:10.1111/anu.12605
- Ray, A. J., Dillon, K. S. y Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Penaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 127–136. doi:10.1016/j.aquaeng.2011.09.001
- Rodrigues, C. (2012). *Apparent digestibility coefficient of feed ingredients for juvenile meagre (Argyrosomus regius, Asso 1801)*. [Tesis de maestría, Universidad de Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/64953/2/24312.pdf>
- Roldán, D., Omote, R. y Vargas, J. (2022). *Transformación de subproductos obtenidos del proceso de conservas de Jurel (Trachurus murphyi) y Caballa (Scomber japonicus) para la elaboración de alimento balanceado para langostinos* [Disertación no publicada]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ruiz, G. (2017). *Fecundidad y tasa de supervivencia en larvas y alevines de Oreochromis niloticus “tilapia” (Linnaeus, 1758) en condiciones de laboratorio*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1024>
- Saavedra, M. (2006). Manejo de Cultivo de Tilapia. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadm649.pdf
- Siccardi III, A., Lawrence, A., Gatlin III, D., Fox, J., Castille, F., Perez-Velazquez, M. y González-Félix, M. (2019). Digestibilidad Aparente de Energía, Proteína y Materia Seca de Ingredientes Utilizados en Alimentos Balanceados para el Camarón Blanco del Pacífico *Penaeus vannamei*. *Avances En Nutrición Acuícola*. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/170>

- Siddik, M., Howieson, J., Fotedar, R. y Partridge, G. J. (2020). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*. doi:10.1111/raq.12481
- Silva-Acosta, J., Canales Valenzuela, C., Rodríguez Leal, S. (2021). Fitodepuración mixotrófica en sistemas de recirculación acuícola (RAS) para el manejo sustentable de nutrientes contaminantes. *Aquatechnica*, 3(1), 37–54. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5196173>
- Soares, R., Peixoto, S., Davis, R. y Davis, D. (2021). Feeding behavior and growth of *Litopenaeus vannamei* fed soybean-based diets with added feeding effectors. *Aquaculture*, 536, 736487. doi:10.1016/j.aquaculture.2021.736487
- Suresh, A., Kumaraguru, K. y Nates, S. (2011). Attractability and palatability of protein ingredients of aquatic and terrestrial animal origin, and their practical value for blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* fed diets formulated with high levels of poultry byproduct meal. *Aquaculture*, 319(1-2), 132–140. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.06.039
- Takeuchi, T. (1988). Determination of digestibility by an indirect method. In: Fish nutrition and mariculture. En Watanabe, T. (Ed.), *The general aquaculture course*. Kanagawa Int Fish Training Centre.
- Terrazas-Fierro, M., Civera-Cerecedo, R., Ibarra-Martínez, L., Goytortúa-Bores, E., Herrera-Andrade, M., & Reyes-Becerra, A. (2010). Apparent digestibility of dry matter, protein, and essential amino acid in marine feedstuffs for juvenile whiteleg shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 308(3-4), 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.021>
- Toledo, R. (2005). *Estudio Comparativo de Tres Sistemas de Distribución de Alimento y su Influencia en las Tasas de Crecimiento de Salmón del Atlántico (Salmo salar)*. [Tesis de titulación, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fat649e/doc/fat649e.pdf>
- Tsai, S.-J. y Chen, J.-C. (2002). Acute toxicity of nitrate on *Penaeus monodon* juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 213(1-4), 163–170. doi:10.1016/s0044-8486(02)00023-6

- Tseng, I. (2004). The immune response of white shrimp *Penaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus* under nitrite stress. *Fish & Shellfish Immunology*, 17(4), 325–333. doi:10.1016/j.fsi.2004.04.010
- Valle, B., Dantas, E., Silva, J., Bezerra, R., Peixoto, S. y Soares, R. (2014). Replacement of fishmeal by fish protein hydrolysate and biofloc in the diets of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Aquaculture Nutrition*, 21(1), 105–112. doi:10.1111/anu.12149
- Van Nguyen, N., Hoang, L., Van Khanh, T., Duy Hai, P. y Hung, L. T. (2018). Utilization of fermented soybean meal for fishmeal substitution in diets of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, 24(3), 1092–1100. doi:10.1111/anu.12648
- Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K., Mountain, J. y Scarpa, J. (1999). Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems. https://www.researchgate.net/profile/John-Scarpa/publication/242621708_Farming_Marine_Shrimp_in_Recirculating_Fresh_Water_Systems/links/574c4f0508ae8d6e6a7b678c/Farming-Marine-Shrimp-in-Recirculating-Fresh-Water-Systems.pdf
- Vargas, J., Brito, L., Silva, S., Soto, I. y Gálvez, A. (2023). Effect of green seaweed meal blend on feed quality and zootechnical performance in shrimp (*Penaeus vannamei*) juveniles. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 21(3), 2171-9292. <https://doi.org/10.5424/sjar/2023213-19901>
- Verástegui, A., Vargas, J., Loo, T. (2008). Uso de la harina de maca (*Lepidium peruvianum* G. Chacón) como insumo de la dieta de alevines de tilapia roja (*Oreochromis spp.*), criadas en condiciones de laboratorio. *Anales científicos UNALM*, 7(4), 66 – 72. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/541/531>
- Vieira, C., Pinto, R., Diógenes, A. y Nunes, A. (2022). Apparent digestibility of protein and essential aminoacids from commonly used feed ingredients in Brazil for juvenile shrimp *Penaeus vannamei*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51. <https://doi.org/10.37496/rbz5120210177>
- Vilcapoma, D. (2021). Determinación de la digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la harina de pescado en juveniles de sábalo cola roja (*Brycon erythropterum*). [Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.>

lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4922/vilcapoma-captcha-david-ricardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Villarreal-Cavazos, D., Ricque-Marie, D., Peñaa-Rodríguez, A., Nieto-López, M., Tapia-Salazar, M., Lemme, A., Gamboa-Delgado, J. y Cruz-Suárez, L. (2014). Apparent digestibility of dry matter, crude protein, and amino acids of six rendered by-products in juvenile *Penaeus vannamei*. *Ciencias marinas*, 40(3), 163–172. <https://doi.org/10.7773/cm.v40i3.2427>
- Viraes, M. (2008). Digestibilidade aparente da proteína e energia e o tempo de passagem de alimentos para acará-bandeira (*Pterophyllum scalare Lichtenstein*, 1823). [Tesis de maestría]. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Brasil.
- Wang, X., Li, E., Qin, J. G., Wang, S., Chen, X., Cai, Y., Chen, K., Hou, Y., Yu, N., Zhang, M., Du, Z. y Chen, L. (2014). Growth, body composition, and ammonia tolerance of juvenile white shrimp *Penaeus vannamei* fed diets containing different carbohydrate levels at low salinity. *Journal of Shellfish Research*, 33(2), 511–517. <https://doi.org/10.2983/035.033.0220>
- World Register of Marine Species (2021). *Penaeus vannamei* Boone, 1931. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=377748>
- Xie, F., Zeng, W., Zhou, Q., Wang, H., Wang, T., Zheng, C. y Wang, Y. (2012). Dietary lysine requirement of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 358-359, 116–121. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.06.027
- Yang, Q., Zhou, X., Zhou, Q., Tan, B., Chi, S. y Dong, X. (2009). Apparent digestibility of selected feed ingredients for white shrimp *Litopenaeus vannamei*, Boone. *Aquaculture Research*, 41(1), 78–86. doi:10.1111/j.1365-2109.2009.02307.x
- Ye, J., Liu, X., Kong, J., Wang, K., Sun, Y., Zhang, C., Zhai, S. y Song, K. (2012). The evaluation of practical diets on a basis of digestible crude protein, lysine and methionine for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 18(6), pp.651-661. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00932.x>
- Zhang, K., Pan, L., Chen, W. y Wang, C. (2015). Effect of using sodium bicarbonate to adjust the pH to different levels on water quality, the growth and the immune

response of shrimp *Penaeus vannamei* reared in zero-water exchange biofloc-based culture tanks. *Aquaculture Research*, 48(3), 1194–1208. doi:10.1111/ are.12961

Zhang, W., Yang, Q., Tan, B., Wang, F., Dong, X., Chi, S., Liu, H., Zhang, S. y Wang, H. (2019). Study of the requirements of dietary cholesterol at two different growth stages of Pacific white shrimps, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture International: Journal of the European Aquaculture Society*, 27(6), 1583–1597. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00411-4>

Zhang, P., Zhang, X., Li, J. y Huang, G. (2006). The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*, 256(1-4), 579–587. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.02.020

Zhou, Y., Thirumurugan, R., Wang, Q., Lee, C. M. y Davis, D. A. (2016). Use of dry hydrolysate from squid and scallop product supplement in plant based practical diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 465, 53–59. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.08.028

Zhu, X., Liu, Y., Tian, L., Mai, K., Zheng, S., Pan, Q., Cai, M., Zheng, C., Zhang, Q. y Hu, Y. (2009). Effects of dietary protein and lipid levels on growth and energy productive value of pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture Nutrition*, 16(4), 392–399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00677.x>

VIII. ANEXOS

ANEXO I. Registros fotográficos

- Maduración de biofiltro e implementación del SRA



- Aclimatación y cuarentena de los langostinos



- **Unidades experimentales**



- **Elaboración de dietas experimentales**



- **Biometría de langostinos**



- **Medición de parámetros de la calidad de agua**



- **Recolección de heces**



ANEXO II. Análisis de varianza de los parámetros de la calidad del agua

- Temperatura (°C)

Análisis de Varianzas para Temperatura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.07906	0.03953	1.18	0.370
Error	6	0.20143	0.03357		
Total	8	0.28049			

Resultados de Temperatura

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	28.17 ± 0.21	n.s.
T ₁	3	28.18 ± 0.04	n.s.
T ₂	3	28.38 ± 0.24	n.s.

- Oxígeno Disuelto (ppm)

Análisis de Varianzas para Oxígeno Disuelto

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.000100	0.000050	0.23	0.803
Error	6	0.001317	0.000220		
Total	8	0.001417			

Resultados de Oxígeno Disuelto

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	6.13 ± 0.01	n.s.
T ₁	3	6.13 ± 0.01	n.s.
T ₂	3	6.14 ± 0.02	n.s.

Análisis de Varianzas para Saturación de Oxígeno

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.3282	0.16408	2.47	0.165
Error	6	0.3990	0.06651		
Total	8	0.7272			

Resultados de Saturación de Oxígeno

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	96.07 ± 0.33	n.s.
T ₁	3	96.16 ± 0.08	n.s.
T ₂	3	96.51 ± 0.29	n.s.

- **pH**

Análisis de Varianzas para pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.000024	0.000012	0.00	0.995
Error	6	0.014744	0.002457		
Total	8	0.014768			

Resultados de pH

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	8.23 ± 0.01	n.s.
T ₁	3	8.22 ± 0.04	n.s.
T ₂	3	8.22 ± 0.03	n.s.

- **Salinidad**

Análisis de Varianzas para Salinidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.000033	0.000016	0.00	0.999
Error	6	0.170024	0.028337		

Total	8	0.170057
-------	---	----------

Resultados de Salinidad

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	35.31 ± 0.11	n.s.
T ₁	3	35.32 ± 0.21	n.s.
T ₂	3	35.32 ± 0.17	n.s.

- **Amonio Total (NH₄ + NH₃)**

Análisis de Varianzas para Amonio Total

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.000735	0.000367	0.35	0.720
Error	6	0.006342	0.001057		
Total	8	0.007077			

Resultados de Amonio Total

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	0.09 ± 0.02	n.s.
T ₁	3	0.10 ± 0.05	n.s.
T ₂	3	0.08 ± 0.02	n.s.

- **Nitritos (NO₂)**

Análisis de Varianzas para Nitritos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.07627	0.03813	0.08	0.928
Error	6	3.02003	0.50334		
Total	8	3.09630			

Resultados de Nitritos

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
-------------	--------------	-------	---------------

T ₀	3	1.18 ± 0.93	n.s.
T ₁	3	0.98 ± 0.78	n.s.
T ₂	3	1.18 ± 0.19	n.s.

- **Nitratos (NO₃)**

Análisis de Varianzas para Nitratos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	2.266	1.133	0.11	0.897
Error	6	61.325	10.221		
Total	8	63.591			

Resultados de Nitratos

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	30.03 ± 1.82	n.s.
T ₁	3	30.57 ± 4.60	n.s.
T ₂	3	29.35 ± 2.50	n.s.

- **Fosfatos**

Análisis de Varianzas para Fosfatos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.04607	0.02304	0.07	0.929
Error	6	1.85169	0.30861		
Total	8	1.89776			

Resultados de Fosfatos

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	1.36 ± 0.66	n.s.
T ₁	3	1.53 ± 0.68	n.s.
T ₂	3	1.45 ± 0.15	n.s.

ANEXO III. Análisis de varianza de los parámetros productivos

- **Peso final (g)**

Análisis de Varianzas para Peso final

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.28272	0.141360	17.05	0.003
Error	6	0.04974	0.008290		
Total	8	0.33246			

Prueba de Tukey para Peso final

Tratamiento	Repeticiones	Media	Comparación
T ₀	3	1.19 ± 0.16	A
T ₁	3	1.13 ± 0.00	A
T ₂	3	0.79 ± 0.02	B

- **Tasa de Crecimiento (g/d)**

Análisis de Varianzas para Tasa de Crecimiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.000168	0.000084	17.05	0.003
Error	6	0.000030	0.000005		
Total	8	0.000198			

Prueba de Tukey para Tasa de Crecimiento

Tratamiento	Repeticiones	Media	Comparación
T ₀	3	0.025 ± 0.004	A
T ₁	3	0.024 ± 0.000	A
T ₂	3	0.016 ± 0.001	B

- **Tasa de Crecimiento Específica (%)**

Prueba de Kruskal-Wallis para TCE

GL	Valor H	Valor p
2	5.60	0.061

Prueba de Kruskal-Wallis para TCE

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	5.04 ± 0.31	n.s.
T ₁	3	4.92 ± 0.01	n.s.
T ₂	3	4.04 ± 0.07	n.s.

- **Factor de Conversión Alimenticia (FCA)**

Análisis de Varianzas para FCA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.37549	0.18774	15.19	0.004
Error	6	0.07417	0.01236		
Total	8	0.44965			

Prueba de Tukey para FCA

Tratamiento	Repeticiones	Media	Comparación
T ₀	3	1.75 ± 0.12	A
T ₁	3	1.98 ± 0.15	A B
T ₂	3	2.25 ± 0.04	B

- **Supervivencia (%)**

Prueba de Kruskal-Wallis para Supervivencia

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	3.27	0.195
Ajustado para empates	2	4.00	0.135

Prueba de Kruskal-Wallis para Supervivencia

Tratamiento	Repeticiones	Media	Significancia
T ₀	3	91.11 ± 3.85	n.s.
T ₁	3	91.11 ± 3.85	n.s.
T ₂	3	97.78 ± 3.85	n.s.

- **Tasa de Eficiencia Proteica (TEP)**

Análisis de Varianzas para TEP

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.22168	0.110838	14.74	0.005
Error	6	0.04511	0.007518		
Total	8	0.26679			

Prueba de Tukey para TEP

Tratamiento	Repeticiones	Media	Comparación
T ₀	3	1.66 ± 0.11	A
T ₁	3	1.41 ± 0.10	B
T ₂	3	1.29 ± 0.02	B

ANEXO IV. Parámetros productivos del reemplazo de la proteína de harina de pescado por el HSJC

- **Peso final (g)**

Peso promedio final (g) semanal

Tratamiento	Semana	1	2	3	4	5	6
T ₀ (0% reemplazo)	Repetición 1	0.202	0.285	0.410	0.621	0.806	1.100
	Repetición 2	0.200	0.319	0.470	0.660	1.014	1.370

	Repetición 3	0.211	0.329	0.390	0.610	0.934	1.099
	Promedio	0.204	0.311	0.423	0.630	0.918	1.190
T₁ (50% reemplazo)	Repetición 1	0.185	0.303	0.410	0.603	0.759	1.127
	Repetición 2	0.175	0.238	0.410	0.552	0.763	1.131
	Repetición 3	0.170	0.261	0.360	0.521	0.795	1.126
	Promedio	0.177	0.267	0.393	0.559	0.772	1.128
T₂ (100% reemplazo)	Repetición 1	0.182	0.217	0.320	0.437	0.628	0.810
	Repetición 2	0.184	0.196	0.300	0.383	0.526	0.783
	Repetición 3	0.150	0.242	0.290	0.442	0.591	0.767
	Promedio	0.172	0.218	0.303	0.420	0.582	0.787

- **Tasa de Crecimiento (g/d)**

Tasa de Crecimiento (g/d) semanal

Tratamiento	Semana	1	2	3	4	5	6
T₀ (0% reemplazo)	Repetición 1	0.130	0.178	0.268	0.364	0.369	0.588
	Repetición 2	0.125	0.255	0.324	0.407	0.759	0.371
	Repetición 3	0.153	0.253	0.131	0.384	0.648	0.330
	Promedio	0.136	0.229	0.241	0.385	0.592	0.430
T₁ (50% reemplazo)	Repetición 1	0.088	0.253	0.229	0.327	0.312	0.575
	Repetición 2	0.063	0.135	0.369	0.304	0.452	0.627
	Repetición 3	0.050	0.195	0.212	0.344	0.588	0.548
	Promedio	0.067	0.194	0.270	0.325	0.451	0.583
T₂ (100% reemplazo)	Repetición 1	0.080	0.075	0.221	0.250	0.410	0.390

Repetición 2	0.085	0.026	0.223	0.177	0.232	0.514
Repetición 3	0.000	0.197	0.103	0.326	0.319	0.377
Promedio	0.055	0.099	0.182	0.251	0.320	0.427

- **Tasa de Crecimiento Específica (%)**

Tasa de Crecimiento Específica (%) semanal

Tratamiento	Semana	1	2	3	4	5	6
T₀ (0% reemplazo)	Repetición 1	4.961	4.917	5.195	5.940	3.716	4.443
	Repetición 2	4.795	6.670	5.536	4.850	6.135	4.299
	Repetición 3	5.687	6.346	2.430	6.390	6.086	2.324
	Promedio	5.148	5.978	4.387	5.727	5.312	3.689
T₁ (50% reemplazo)	Repetición 1	3.495	7.048	4.320	5.508	3.289	5.647
	Repetición 2	2.569	4.393	7.770	4.248	4.624	5.623
	Repetición 3	2.086	6.125	4.594	5.272	6.045	4.973
	Promedio	2.717	5.855	5.561	5.009	4.653	5.414
T₂ (100% reemplazo)	Repetición 1	3.223	2.513	5.549	4.442	5.190	3.636
	Repetición 2	3.405	0.903	6.081	3.478	4.544	5.683
	Repetición 3	0.000	6.833	2.585	6.020	4.150	3.724
	Promedio	2.209	3.416	4.738	4.647	4.628	4.348

- **Factor de Conversión Alimenticia (FCA)**

Factor de Conversión Alimenticia (FCA) semanal

Tratamiento	Semana	1	2	3	4	5	6
T₀ (0% reemplazo)	Repetición 1	1.514	1.958	1.464	1.620	2.226	1.332

	Repetición 2	1.575	1.322	1.462	1.733	1.269	3.204
	Repetición 3	1.291	1.505	3.989	1.574	1.280	3.095
	Promedio	1.460	1.595	2.305	1.642	1.592	2.544
T₁ (50% reemplazo)	Repetición 1	2.250	1.474	2.973	2.577	2.704	1.571
	Repetición 2	3.150	2.611	1.453	2.772	1.831	1.552
	Repetición 3	3.938	1.756	2.768	2.151	1.329	1.848
	Promedio	3.113	1.947	2.398	2.500	1.955	1.657
T₂ (100% reemplazo)	Repetición 1	2.461	4.888	2.212	2.632	1.598	2.053
	Repetición 2	2.316	14.413	1.979	3.482	2.475	1.218
	Repetición 3	-	1.533	5.294	1.832	2.077	1.998
	Promedio	2.389	6.945	3.162	2.649	2.050	1.756

- **Supervivencia (%)**

Supervivencia (%) semanal

Tratamiento	Semana	1	2	3	4	5	6
T₀ (0% reemplazo)	Repetición 1	100	100	100	93	93	93
	Repetición 2	100	100	100	100	100	87
	Repetición 3	100	100	100	93	93	93
	Promedio	100	100	100	95	95	91
T₁ (50% reemplazo)	Repetición 1	100	100	100	93	93	87
	Repetición 2	100	100	100	100	100	93
	Repetición 3	100	100	100	100	100	93
	Promedio	100	100	100	98	98	91
T₂ (100% reemplazo)	Repetición 1	100	100	100	100	100	100

Repetición 2	100	100	100	100	93	93
Repetición 3	100	100	100	100	100	100
Promedio	100	100	100	98	98	98

- **Tasa de Eficiencia Proteica (TEP)**

Tasa de Eficiencia Proteica (TEP) semanal

Tratamiento	Semana	1	2	3	4	5	6
T₀ (0% reemplazo)	Repetición 1	1.921	1.485	1.987	1.796	1.307	2.184
	Repetición 2	1.847	2.201	1.990	1.678	2.292	0.908
	Repetición 3	2.253	1.932	0.729	1.848	2.272	0.940
	Promedio	2.007	1.873	1.569	1.774	1.957	1.344
T₁ (50% reemplazo)	Repetición 1	1.241	1.894	0.939	1.083	1.033	1.777
	Repetición 2	0.886	1.069	1.921	1.007	1.524	1.799
	Repetición 3	0.709	1.590	1.009	1.298	2.101	1.510
	Promedio	0.945	1.518	1.290	1.129	1.553	1.695
T₂ (100% reemplazo)	Repetición 1	1.177	0.593	1.310	1.100	1.813	1.411
	Repetición 2	1.251	0.201	1.464	0.832	1.170	2.379
	Repetición 3	0.000	1.890	0.547	1.582	1.395	1.450
	Promedio	0.809	0.895	1.107	1.171	1.459	1.747

ANEXO V. Coeficiente de Digestibilidad del HSJC

- **Porcentajes de proteína y óxido de cromo de las dietas de Referencia y Prueba**

Análisis químico de las dietas y heces (base seca)

Acuario	Proteína dieta (%)	Óxido de cromo dieta (%)	Proteína heces (%)	Óxido de cromo heces (%)
----------------	-------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Referencia	35.875	0.715	12.89 ± 0.40	2.41 ± 0.03
Prueba	42.500	0.746	14.23 ± 0.40	2.12 ± 0.15
