



ARTÍCULO ORIGINAL

Digestibilidad en camarón blanco (*Pennaeus vannamei*) alimentado con piensos con altos niveles de proteína vegetal ecológica

Digestibility in white shrimp (*Pennaeus vannamei*) fed with high organic vegetable protein diets

Autores: Yesi Melendez Reyna, Esteffany Grandez Yoplac, Yosu Candela Maldonado, Ana Tomás Vidal y Miguel Jover Cerdá

Digestibilidad en camarón blanco (*Pennaeus vannamei*) alimentado con piensos con altos niveles de proteína vegetal ecológica

Digestibility in white shrimp (*Pennaeus vannamei*) fed with high organic vegetable protein diets

Autor: 1. Yesi Melendez Reyna (ORCID: 0009-0005-8095-3032)
2. Esteffany Grandez Yoplac (ORCID: 0000-0002-6060-4557)
3. Yosu Candela Maldonado (ORCID: 0009-0005-4219-248X)
4. Ana Tomás Vidal (ORCID: 0000-0002-2985-9324)
5. Miguel Jover Cerdá (ORCID: 0000-0001-904 9-0573)

Sobre el autor: 1-5 Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ciencia Animal, Valencia, España

Información del manuscrito: Recibido/Received: 30-10-24

Aceptado/Accepted: 2-12-24

Contacto de correspondencia: yymelrey@upv.edu.es

Resumen

Introducción: El uso de ingredientes ecológicos vegetales en la formulación de dietas para la producción de camarones en sistemas de recirculación es una temática pionera en el sector acuícola, el cual plantea una alternativa más sostenible desde la perspectiva tanto de uso del territorio como de los recursos hídricos y una menor demanda de harina de pescado. El objetivo principal es evaluar la digestibilidad de tres piensos extrusionados con diferentes niveles de harina de pescado e ingredientes ecológicos vegetales. **Metodología:** Se formularon tres dietas experimentales: HP10 (con un 10 % de harina de pescado, pienso considerado como control, puesto que es el nivel actual de los piensos comerciales para esta especie), HP7,5 (con un 7,5 %) y HP5 (con un 5 %), sustituyendo así, la harina de pescado por ingredientes ecológicos vegetales en un 25 % (HP7,5) y un 50 % (HP5). El bioensayo se realizó con tres réplicas para cada dieta a modo de triángulo latino, y tuvo una duración de 90 días. **Resultados:** La digestibilidad de la materia seca fue entre 75,5 – 78,6 %, la de la proteína entre 91,0 – 92,9 % (aminoácidos entre 89 – 97 %), y la de la grasa entre 83,55 – 87,83 %, no presentando en ningún caso diferencias significativas entre piensos. **Conclusiones:** Esta investigación destaca la capacidad de los camarones de digerir altos niveles de ingredientes ecológicos vegetales, siendo la digestibilidad de los piensos con hasta un 50 % de sustitución de la harina de pescado similar a la de los otros dos tratamientos.

Palabras clave: acuicultura, digestibilidad, piensos orgánicos, *Pennaeus vannamei*

Abstract

Introduction: The use of organic vegetable ingredients in the formulation of diets for shrimp production in recirculation systems is a pioneering topic in the aquaculture sector, which presents a more sustainable alternative from both the perspective of land use and water resources, as well as a lower demand for fishmeal. The main objective is to evaluate the digestibility of three extruded feeds with different levels of fish meal and organic vegetable ingredients. **Methodology:** Three experimental diets were formulated: HP10 (with 10 % fish meal, considered as the control diet since it is the current level of commercial feeds for this species), HP7.5 (with 7.5 %), and HP5 (with 5 %), thus replacing fish meal with organic plant ingredients by 25 % (HP7.5) and 50 % (HP5). The bioassay was conducted with three replicates for each diet in a Latin square design, and it lasted 90 days. **Results:** The digestibility of dry matter ranged from 75.5 % to 78.6 %, that of protein from 91.0 % to 92.9 % (amino acids from 89 % to 97 %), and that of fat from 83.55 % to 87.83 %, with no significant differences between feeds in any case. **Conclusions:** This research highlights the ability of shrimp to digest high levels of organic plant ingredients, with the digestibility of feeds containing up to 50 % fishmeal replacement being similar to that of the other two treatments.

Keywords: Aquaculture, digestibility, organic feed, *Penaeus vannamei*

Introducción

La acuicultura es el sector de más rápido crecimiento en la producción mundial de alimentos, con una tasa de crecimiento anual del 7,5 % desde la década de 1990, debido principalmente a la disminución de la pesca de captura (Tran et al. 2024). El langostino blanco (*Penaeus vannamei*) emerge como una de las especies clave en la acuicultura, representando más del 50 % de la producción mundial (Zheng et al. 2024; Lightner et al. 2012), alcanzando un récord de 5.8 millones de toneladas en 2020, lo que representa el 51,7 % de la producción total de crustáceos acuáticos (Huang et al. 2024). Esto pone de relieve la posición dominante del langostino blanco como la especie acuícola más grande dentro de la categoría de crustáceos (Kumar et al. 2021). Este volumen de producción está dado principalmente por el aumento de las densidades de población en los estanques, lo que optimiza la producción por área (Ekasari et al. 2021).

Este aumento del consumo mundial de langostino blanco se ha visto impulsado por el crecimiento económico y la expansión de la producción acuícola. Debido a este auge y teniendo en cuenta los problemas actuales de la acuicultura por la necesidad de proteína animal para alimentar a las especies carnívoras, es necesario buscar ingredientes proteicos alternativos a las harinas de pescado (HP).

Actualmente estamos viviendo un cambio donde la concienciación medioambiental, así como la calidad e inocuidad de los productos que consumimos, ha pasado a ser un tema recurrente en muchos de los hogares en países desarrollados. Al consumidor cada vez le preocupan más las posibles consecuencias ambientales de sus acciones, así como el alimentarse de una manera más natural (López Belluga 2013). Ante este escenario, cuestiones como el bienestar animal, la trazabilidad o la certificación ecológica adquieren más valor.

Por lo tanto, en el contexto actual de la acuicultura, la búsqueda de prácticas sostenibles y eficientes para la producción de especies marinas es primordial (Tefal et al. 2023). El interés por los alimentos con características y certificaciones ecológicas ha crecido en las últimas décadas por parte de los consumidores de los países industrializados. Así, la acuicultura ecológica incorpora prácticas ambientales óptimas que promueven una amplia biodiversidad y conserva los recursos naturales (Ahmed et al. 2020).

Para ser considerado producción ecológica certificada, el alimento debe producirse a partir de subproductos de otras especies de acuicultura y ganadería ecológica, producción vegetal ecológica, harina y aceite de pescado procedente de pesquerías certificadas, según Reglamento UE 1380/2013. Además, no está permitido utilizar factores de crecimiento ni aminoácidos sintéticos, lo que limita mucho a la hora de su formulación si se quieren cubrir las necesidades de ciertos nutrientes esenciales para los peces. El resto de las materias primas, así como aditivos y coadyuvantes, solo se pueden utilizar si han sido autorizados para su uso en la producción ecológica. Todas estas normativas se encuentran reflejadas en el Reglamento de la Unión Europea (UE) 2018/848 (Diario Oficial De La Unión Europea 2018).

Los métodos de producción usados en la acuicultura ecológica son muy similares a los convencionales, incluidos sistemas de recirculación (RAS), corrales, jaulas, canales y tanques (Xie et al. 2013; Mente et al. 2012; Cottee y Petersan 2009). El uso del sistema RAS proporciona condiciones óptimas para la producción ecológica, en términos de bienestar animal y bioseguridad (Meisch y Stark 2019; Suhl et al. 2016; Kloas et al. 2015).

El contenido de proteína en la dieta del langostino blanco oscila entre 250 y 330 g/kg de proteína bruta (Ayisi et al. 2017), siendo hasta hace muy poco la HP su principal fuente de proteína (Suárez et al. 2009), aunque siguiendo el modelo de sostenibilidad ya comentado de la acuicultura actual, uno de los principales objetivos de la producción acuícola es reducir el uso de esta materia prima, de ahí el empeño en buscar fuentes alternativas, que deben de cumplir una serie de requisitos: elevado contenido proteico, un perfil de aminoácidos (AA) adecuado, así como un suministro seguro y costes asequibles (Sánchez-Muros et al. 2020).

En la acuicultura convencional, estudios previos han evaluado la sustitución de la HP con diversos productos y subproductos tanto vegetales como animales, con diferentes grados de éxito, y en general han demostrado ser una alternativa rentable y sostenible a los piensos tradicionales a base de harina de pescado (Leduc et al. 2018). Sin embargo, reemplazar los piensos con proteínas vegetales no siempre es la mejor alternativa, ya que puede reducir la palatabilidad del alimento y, por lo tanto, la ingesta y el crecimiento de los peces por posibles deficiencias nutricionales, además del hecho de que las plantas contienen compuestos antinutritivos endógenos y carbohidratos complejos que podrían afectar la digestibilidad de los nutrientes y, por tanto, afectar negativamente el rendimiento nutricional (Aksnes et al. 2006).

La sustitución de la HP por otras fuentes proteicas es un importante campo de investigación en el cultivo del camarón en particular, y en la acuicultura en general, que ha permitido reducir la inclusión de harina de pescado en la dieta del camarón (Sánchez-Muros et al. 2020). En el caso concreto del camarón blanco, se han estudiado diferentes fuentes proteicas vegetales como sustitutas de la HP, como es la harina de soja (Hulefeld et al. 2018; Scopel et al. 2011; Lim & Dominy 1990); canola (Suárez et al. 2009); altramuza, arroz, caupí, maíz y gluten de maíz, concentrados de quinoa, hojas de papaya y harina de batata sin efectos negativos sobre los parámetros productivos, y se ha llegado a sustituciones de hasta el 37,42 %, incluso el 61,67 % utilizando soja fermentada (Shiu et al. 2015).

Para solucionar el desequilibrio de aminoácidos, la proteína vegetal se ha complementado con proteína animal. Amaya et al. (2007) y Molina et al. (2013) mencionan que la HP se puede eliminar por completo de la formulación utilizando fuentes alternativas de proteína vegetal en combinación con harina de subproductos avícolas sin comprometer negativamente el rendimiento de producción y los retornos económicos de *L. vannamei* en sistemas de estanques de producción de camarones semi-intensivos.

Las fuentes animales tienen mejores características nutritivas que las fuentes vegetales: mejor digestibilidad, ausencia de factores antinutricionales y mayor proteína bruta, aunque no siempre las sustituciones altas de HP han funcionado bien. Cheng et al. (2002) comprobaron que un reemplazo de más del 66 % de la HP por subproductos avícolas empeoraba el crecimiento, debido principalmente por su menor contenido en aminoácidos esenciales. Sin embargo, cuando probaron a sustituir la HP por una mezcla de subproductos avícolas con concentrado de soja, pudieron llegar a un 80 % de sustitución sin diferencias en el crecimiento (Allen y Arnold, 2000).

Los subproductos animales pueden ser deficientes o excesivos en un aminoácido esencial o más y el perfil de ácidos grasos difiere de las fuentes marinas siendo necesario incluir proteína marina para lograr la sustitución total (Forster et al. 2004). Otros autores han comprobado que en algunos casos las diferencias de crecimiento con las fuentes alternativas animales son debidas a la menor digestibilidad de las dietas, debido en muchos casos a un mayor contenido en cenizas de estas fuentes, sobre todo si son subproductos animales (Ye et al. 2011; Hernández et al. 2004).

El desafío de sustituir la HP en la formulación de los piensos repercutirá en gran medida a reducir los costes de alimentación, que representan entre el 50 % y 70 % del coste de producción (Paulraj et al. 2007), sobre todo harían de la acuicultura una ganadería más sostenible. Por ello, es esencial que los nuevos ingredientes sean económicos, accesibles y con una composición nutricional igual o superior a la HP. La reducción del uso de HP es especialmente importante desde el punto de vista ambiental, ya que este recurso se obtiene principalmente de la pesca de pequeños pelágicos, como la sardina y la anchoveta del norte de Chile y Perú.

El uso excesivo de HP ha sido fuertemente criticado por organizaciones ambientalistas debido a su carácter limitado y finito (Hardy 2010). Diversos estudios han demostrado que el langostino blanco puede alimentarse sustituyendo parcialmente la HP por harinas vegetales y otras harinas animales sin afectar negativamente los parámetros productivos.

Por ello, el presente estudio busca evaluar el efecto del uso de ingredientes vegetales en la formulación de dietas para camarón, ya que uno de los principales inconvenientes de estos ingredientes, debido a la mayor presencia de carbohidratos y factores antinutricionales, presenta una menor digestibilidad en especies carnívoras.

Métodos

Formulación y fabricación de los piensos: Se formularon tres dietas experimentales que cumplieran con los requisitos nutricionales para camarón; se utilizaron diferentes niveles de inclusión de HP (10, 7.5 y 5 %) y proteínas vegetales ecológicas (Tabla 1). La formulación de dietas se ajustó variando la sustitución de HP y demás ingredientes, para un contenido final de proteína bruta (PB) del 36 % y grasa bruta (GB) de 10 %.

Los piensos experimentales utilizados en este experimento se fabricaron mediante el proceso de cocción-extrusión en la Fábrica de Piensos del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València. Para ello se empleó una extrusora semiindustrial de la casa Clextral modelo BC45.

Tabla 1. Ingredientes y composición de las tres dietas experimentales

Ingredientes g/kg	HP10	HP7,5	HP5
Harina de pescado	100	75	50
Soja ecológica	429	484	537
Guisante ecológico	345	316	291
Aceite pescado	22	25	28
Aceite soja	19	14	8
Maltodextrina	50	50	50
Fosfato monocalcico	15	16	16
Complejo vitamínico-mineral*	10	10	10
Lecitina de soja	10	10	10
Composición nutricional (%m.s.)			
Proteína Bruta (PB) (%)	36.6	36.3	37.3
Grasa Bruta (GB) (%)	10.1	10.2	10.0
Carbohidratos (CHO) (%)	45.2	45.4	45.7
Cenizas (CE) (%)	8.8	8.6	8.4

Nota: *Vitaminas y minerales mezcla (g kg⁻¹): acetato de retinol, 1000000 IU kg⁻¹; calciferol, 500 IU kg⁻¹; DL-a-tocoferol, 10; bisulfito sódico de menadiona, 0.8; clorhidrato de tiamina, 2.3; riboflavina, 2.3; clorhidrato de piridoxina, 15; cianocobalamina, 25; nicotinamida, 15; ácido pantoténico, 6; ácido fólico, 0.65; biotina, 0.07; ácido ascórbico, 75; inositol, 15; betaína, 100; polipéptidos 12. Concentrado de soja como mezcla de vitaminas y minerales (por kg): sílice coloidal, 176.7g; arcilla sepiolítica, 357.3g; butihidroxitolueno, 20g; vitamina B12, 0.010g; niacinamida, 20g; ácido fólico, 1.5g; vitamina D3, 2x10⁵ UI; vitamina A, 2x10⁶ UI; vitamina E, 10g; vitamina K3, 2.5g; vitamina B1, 3g; vitamina B2, 3g; vitamina B6, 2g; Calcio d-pantotenato, 10g; biotina, 0.3g; inositol, 50g; betaína anhidra, 50g; sulfato de hierro I (II), monohidratado, 0.6g; yoduro de potasio 0.05; cobre (II) sulfato pentahidratado, 0.9g; óxido de manganeso (II), 0.96g; sulfato de zinc monohidratado 0.75g; selenito de sodio, 0.001g; medio: carbonato de calcio, cloruro sódico, cloruro potásico.

Composición de los ingredientes

Harina Pescado: PB 71.0 %; GB 10.4 %; CE 19.1 %
 Trigo ecológico: 18.8 %; GB 1.2 %; CHO 77.9 %; CE 2.1 %
 Soja ecológica: PB 45.1 %; GB 9.0 %; CHO 38.8 %; CE 7.10 %
 Guisante ecológico: PB 24.8%; CHO 68.27 %; CE 6.93 %

La composición en aminoácidos de las dietas una vez fabricadas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición de aminoácidos de las dietas experimentales

	HP10	HP7.5	HP5
Esenciales			
Arginina	1.76	1.79	1.88
Histidina	0.63	0.56	0.59
Isoleusina	1.47	1.38	1.44
Leucina	2.51	2.35	2.45
Lysina	1.32	1.13	1.09
Fenilalanina	1.43	1.4	1.47
Treonina	1.37	1.24	1.27
Valina	1.63	1.5	1.55
No esenciales			
Alanina	1.71	1.5	1.49
Ácido Aspártico	3.63	3.58	3.56
Ácido Glutámico	5.53	5.48	5.41
Glicina	1.45	1.29	1.32
Prolina	1.62	1.52	1.58
Serina	1.56	1.53	1.58
Tirosina	0.87	0.89	0.86

Fuente: Melendez Reyna, Yessi, Grandez Yoplac, Esteffany, Candela Maldonado, Yosú 2024.

Estimación de la ingesta

El cálculo de las ingestas diarias se llevó a cabo siguiendo una propuesta de tasa de alimentación diaria (TAD) óptima, la cual se estableció en base al tamaño medio individual del camarón y la temperatura según Forster et al. (2003), teniendo en cuenta el peso de los camarones y la temperatura del agua. Al realizarse en un sistema RAS la temperatura oscilaba entre 27 y 28°C para una óptima alimentación y 20 g de peso medio de los animales se fijó una tasa de alimentación media de 2.7 %.

$$\text{Ingesta} = \text{TAD} \times \text{Biomasa media} \times \text{días} / 100$$

Prueba de digestibilidad

La prueba de digestibilidad se realizó en el Laboratorio de Acuicultura del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València. El experimento se llevó a cabo en tanques con una capacidad de 90 L. (Figura 1 Izq.) durante 90 días, tiempo necesario para obtener la cantidad de heces suficientes que requiere el análisis del Ytrio y los diferentes nutrientes. Se estableció un diseño de tercío latino que consta de tres pienso con tres tanques y tres réplicas. Se alojaron 20 camarones por cada tanque de unos 15-20 gramos de peso medio (Figura 1 Der.). Tres días antes de comenzar el bioensayo, los camarones se aclimataron al sistema.

Figura 1. Tanques con los cestillos para el experimento de digestibilidad en el laboratorio de Acuicultura de la UPV. Der) Camarones utilizados para el experimento



Fuente: Laboratorio de Acuicultura del Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València.

Se controló el estado sanitario de los camarones y se alimentó a tasa restringida en una sola toma, 45 minutos después de suministrar el alimento, los animales se trasladaban a un tanque limpio empleando un cestillo cerrado (Figura 1 Izq.) donde no había restos de pienso para evitar la contaminación de las heces con otros restos orgánicos, la colecta de las heces se procedía cuatro horas después, estas se lavaban con agua destilada para eliminar sales. Una vez obtenidas las heces, primero se congelaban y posteriormente se liofilizaban antes de la realización del análisis.

Una vez al día se registraron los parámetros fisicoquímicos del agua de mayor prioridad: temperatura, oxígeno, pH, salinidad, los parámetros registrados durante el experimento oscilaban dentro del rango óptimo para el desarrollo de la especie: pH 7-8, O₂ 6-8 mg/L; salinidad 20-22 mg/L y temperatura 27-28°C. El nitrógeno amoniacal y los nitritos resultaron 0 durante todo el experimento.

Análisis de heces y piensos

La digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, grasa y aminoácidos de las tres dietas experimentales se determinaron mediante la incorporación de un marcador inerte al alimento (Ytrio), el cual se añadió a las mezclas que se muestran en la Tabla 1 en 10 g/kg. El Ytrio de los piensos y heces se determinó por ICP (Plasma con acoplamiento inductivo) tras una digestión ácida en el Instituto Universitario del Agua y Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante. Se analizó la proteína (N), la grasa y los aminoácidos tanto de las materias primas como de los piensos y las heces, según la siguiente metodología:

Proteína bruta y energía: Leco CN628 Elemental Analyzer (Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA, AOAC 2005). (Chemists 2005).

Los coeficientes de digestibilidad aparente se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$\text{CDA (\%)} = 100 \times [1 - (\text{Nh}/\text{Np} \times \text{DY}/\text{HY})]$$

Donde Nh es el porcentaje de proteína, grasa y aminoácidos en las heces y Np es el porcentaje de proteína, grasa, aminoácidos o la cantidad de fósforo en el pienso, DY es la concentración de Ytrio en el pienso HY es la concentración de Ytrio en las heces (Cho & Kaushik 1990).

Los análisis bioquímicos se desarrollaron en los laboratorios de análisis del Departamento de Ciencia Animal donde se analizaron las muestras de piensos, camarones y sus heces.

- **Determinación de materia seca.** La materia seca y las cenizas se determinaron según los procedimientos de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC). Se tomaron 2.5 g de muestra y se colocó en un crisol debidamente marcado y pesado. A continuación, las muestras se metían en la estufa a 105°C por 24 h., pasado ese tiempo se dejaban enfriar en un desecador y se pesaban los crisoles, la diferencia de peso corresponde a la humedad perdida.

- **Determinación de porcentaje de grasa bruta.** Para la determinación del porcentaje de materia grasa se ponían alrededor de 0.5 g de materia seca liofilizada en filtros bolsillo ANKOM que posteriormente se sellaban y llevaban al extractor ANKOMXT10, ANKOM Technology, Macedon, NY, USA) para retirar la materia grasa. Al cabo de una hora se retiran los filtros del instrumento y se dejan secar por 4 horas en la estufa, luego de esto se realiza pesaje de estos. Los datos de peso se anotaban en una tabla Excel y se despejaba el porcentaje de lípidos brutos.
- **Determinación de proteínas.** Para saber el porcentaje de proteínas, se pesaron alrededor de 0.17 g de materia seca liofilizada de pez por tanque y se pusieron en papel aluminio. Posteriormente, se pusieron en un rack plástico y se analizaron en el determinador carbono/hidrógeno/nitrógeno LECO serie 628.
- **Determinación de aminoácidos totales por HPLC. Método AQC.** El contenido en aminoácidos de las muestras liofilizadas de camarón entero se determinó tras someter a las mismas a una hidrólisis ácida con HCl 6N a 110°C durante 23 horas como describieron Bosch et al. (2006). En la separación de los aminoácidos se empleó un cromatógrafo líquido de alta resolución Waters (Milford, MA, USA). Los aminoácidos se derivatizaron con AQC (6-aminoquinolil-N-hidroxisuccinimidil carbamato). En la cuantificación de los aminoácidos se empleó tras la hidrólisis el ácido alfa-amino-butírico como patrón interno. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con los de un patrón H de aminoácidos de Pierce (Thermo Fisher Scientific Inc. IL, USA).

Resultados

Los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca, proteína y grasa no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tabla 3). Los niveles de digestibilidad de la materia seca resultaron entre los valores de 75,54 a 78,57 %; la proteína de 91.04 a 92.91 % y la grasa de 83.55 a 87.83 %.

Tabla 3. Digestibilidad aparente de las dietas (%) experimentales

CDA%	Pienso			ANOVA F-ratio
	Media ± ES	HP10	HP7.5	HP5
Materia seca	78.57 ± 1.31	75.54 ± 0.90	78.06 ± 1.50	1.65 ns
Proteína	92.91 ± 0.35	91.04 ± 1.29	91.59 ± 1.04	0.96 ns
Grasa	87.83 ± 2.81	83.55 ± 2.53	85.21 ± 3.04	0.59 ns

Nota: Los datos en la tabla muestran la media de cuatro tanques siguiendo un diseño experimental de tercio latino (n=3) ± error estándar de la media (ES). Test de Newman-Keuls, ns: no significativo.
Fuente: Melendez Reyna, Yessi, Grandez Yoplac, Esteffany, Candela Maldonado, Yosu 2024.

Los coeficientes de digestibilidad de los aminoácidos estuvieron por encima del 90 % en todos ellos y no presentaron diferencias significativas entre los piensos experimentales.

Tabla 4. Digestibilidad aparente de los aminoácidos en las dietas experimentales

Aminoácidos (g/100 g)	Dieta					
	HP10		HP7.5		HP5	
	Media	ES	Media	ES	Media	ES
Esenciales						
Arginina	97.36	1.39	95.93	0.41	95.09	0.63
Histidina	96.5	1.8	94.84	0.54	93.87	0.86
Isoleucina	96.83	1.65	95.24	0.54	94.36	0.78
Leucina	97.69	1.24	96.44	0.38	95.44	0.54
Lysina	96.02	2.01	94.57	0.62	93.51	0.74
Fenilalanina	94.92	2.44	92.59	0.86	90.8	1.23
Treonina	95.47	2.29	93.25	0.78	91.81	1.14
Valina	97.78	1.2	96.99	0.24	96.69	0.37

No esenciales						
Alanina	94.87	2.8	92.28	1.07	90.29	1.32
Ác. aspártico	95.46	2.26	93.83	0.79	92.24	0.89
Ác. glutámico	96.48	1.77	95.33	0.57	93.89	0.68
Glicina	94.43	2.64	91.27	0.67	89.22	1.58
Prolina	96.32	1.7	94.69	0.54	93.48	0.86
Serina	95.43	2.1	93.96	0.59	92.55	0.92
Tirosina	95.62	2.23	94.25	0.69	92.86	0.71

Nota: Los datos muestran la media $\pm$ error estándar de la media (ES).

Fuente: Melendez Reyna, Yessi, Grandez Yoplac, Esteffany, Candela Maldonado, Yosu 2024.

Discusión

Este estudio es pionero en evaluar la digestibilidad in vivo de tres piensos con diferentes niveles de harina de pescado e ingredientes ecológicos para camarón blanco. Sin embargo, se han realizado esfuerzos considerables para definir los diversos alimentos vegetales o animales que podrían reemplazar la harina de pescado en los alimentos para langostino blanco, como la harina de soja (Lim y Dominy 1990); harina de lupino (Sudaryono et al. 1999); concentrado de proteína de soja (Boonyaratpalin 2001) harina de semilla de algodón extraída con disolventes (Lim et al. 1997) harinas extraídas de carne y huesos (Forster et al. 2003); y alguna mezcla de proteínas vegetales y/o animales (Allen Davis & Arnold 2000; Amaya et al. 2007). Los coeficientes de digestibilidad aparente podrían verse influenciados por las especies producidas y la composición química del alimento (Lim y Dominy 1990).

No se encontró diferencias significativas en la digestibilidad con la sustitución del 25 y 50 % de HP con proteína vegetal ecológica. Estudios previos no han abordado insumos vegetales ecológicos, pero sí se han incorporado vegetales en los piensos, en los cuales se ha observado que la digestibilidad aparente de nutrientes disminuyó con el aumento del nivel de sustitución de harina de pescado en las dietas de langostino blanco (Suárez et al. 2009), esto podría deberse a los factores antinutritivos presentes en algunos ingredientes vegetales (Francis et al. 2001); o a la mayor cantidad de fibra y carbohidratos en general, de los mismos, se ha informado de una utilización ineficiente de los carbohidratos en estudios previos con juveniles de *P. vannamei* (Condrey et al. 1972; Fenucci 1981), lo que sugiere que esta especie tiene una capacidad limitada para utilizar el almidón de la dieta de manera efectiva (Brunson et al. 1997). En el presente estudio los piensos fueron fabricados mediante cocción-extrusión, proceso que inactiva los antinutrientes y mejora a digestibilidad de los carbohidratos.

La sustitución de la HP por harina vegetal representa un reto, ya que los cereales contienen nutrientes de baja biodisponibilidad para los langostinos (Davis & Gatlin III 1996), por lo que la selección de ingredientes ha recibido especial atención para la formulación de piensos en acuicultura. La biodisponibilidad podría estar relacionada con su forma química (Davis & Arnold, 1993). La digestibilidad de los nutrientes de un ingrediente alimentario es un factor importante para evaluar el valor nutritivo general del ingrediente, porque está relacionado con la cantidad del nutriente absorbido por los animales (Carvalho et al. 2016). La digestibilidad de los aminoácidos presentadas por otros autores encontró que los coeficientes de digestibilidad de la proteína dietaria, materia seca y energía no fueron afectados significativamente por el reemplazo de comida de pescado (FM) con subproductos de avícolas de calidad alimentaria para mascotas (PBM-PFG)” (Cruz-Suárez et. al. 2007).

La evaluación de la biodisponibilidad de nutrientes para varios ingredientes de alimentos administrados al langostino blanco tiene el potencial de proporcionar un método de selección que permita el diseño de formulaciones de alimentos más razonables y al mismo tiempo reducir los impactos negativos de las operaciones de acuicultura debido a los subproductos de desecho (Irvin y Tabrett 2005), que pueden contribuir a la carga de contaminación y la aparición de enfermedades. Desafortunadamente, la digestibilidad de los nutrientes puede mostrar una alta inconsistencia debido a las prácticas de alimentación, las condiciones ambientales, los procesos de alimentación y los enfoques de digestibilidad de la dieta (Brunson et al. 1997).

La digestibilidad de las tres dietas experimentales estuvo dentro del rango de diversas harinas de soja y proteína vegetal empleadas en el langostino blanco, informados en una variedad de estudios (Cruz-Suárez et al. 2009; Suárez et al. 2009). La digestibilidad de los ami-

noácidos de las dietas experimentales (superiores a 90 %) fue similar a la de otros trabajos con piensos con altos niveles de harina de pescado. Cruz-Suárez et al. (2007) mencionan que la digestibilidad de los aminoácidos esenciales totales fue alta y similar para los cuatro ingredientes de soja: harina de soja entera (FFSBM), la harina de soja extraída con hexano (SBM) y el aislado de proteína de soja (SPI), (promedio de 95.9 %), mientras que para el concentrado de proteína de soja (SPC) (90.5 %). Divakaran et al. (2004) obtuvieron valores de digestibilidad cercanos al 100. Valores cercanos al 100 % de digestibilidad de aminoácidos no son inusuales (Divakaran et al. 2004).

Los ensayos in vivo de digestibilidad aparente de aminoácidos son buenos indicadores de la calidad de los ingredientes de los alimentos y pueden utilizarse para seleccionar ingredientes para alimentos. El conocimiento de la digestibilidad de los nutrientes contribuirá a preparar dietas con niveles adecuados de proteína digestible y aminoácidos esenciales (Terrazas-Fierro et al. 2010).

Conclusiones

La digestibilidad de materia seca (75.5 – 78.6 %), proteína (91.0 – 92.9 %) y grasa (83.55 – 87.83 %) no presentaron diferencias significativas entre los diferentes niveles de sustitución de HP por proteína vegetal ecológica y sus valores estuvieron en el rango de estudios previos de otras proteínas vegetales y animales utilizados en la dieta del camarón blanco. Por tanto, es posible incluir soja y guisante ecológico en los piensos para camarón sin reducción de la digestibilidad.

Se han realizado diversos estudios sobre los requerimientos nutricionales del camarón blanco, sin embargo, este estudio es pionero en el uso de ingredientes ecológicos vegetales, por lo tanto, la falta de información previa es una de las limitaciones para poder comparar con investigaciones referente a dicho tema. A pesar de la creciente demanda de productos ecológicos, no obstante, la obtención de insumos ecológicos para la elaboración de los piensos es limitado, lo que podría afectar o ralentizar la recolección suficiente de heces.

Referencias

- Ahmed, Nesar y Giovanni Turchini. 2021. "Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation". *Journal of Cleaner Production*, 297. 126604-126617. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126604>.
- Ahmed, Nesar, Shirley Thompson, y Giovanni Turchini. 2020. "Organic aquaculture productivity, environmental sustainability, and food security: insights from organic agriculture". *Food Security* 12, núm. 6: 1253-1267. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01090-3>.
- Aksnes, Anders, Britt Hope, Elisabeth Jönsson, Björn Thrandur Björnsson y Sissel Albrektsen. 2006 "Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization". *Aquaculture*, 261, núm. 1: 305-317. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.025>.
- Amaya, Elkin A., D. Allen Davis & David B. Rouse. 2007. "Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions". *Aquaculture*, 262, núm. 2-4: 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.015>.
- Ayisi, Christian Larbi, Xueming Hua, Andrews Apraku, Gyamfua Afriyie & Beatrice Amankwuah Kyei. 2017. "Recent Studies Toward the Development of Practical Diets for Shrimp and Their Nutritional Requirements". *HAYATI Journal of Biosciences*, 24, núm. 3: 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2017.09.004>.
- Brunson, J. F., R. P. Romaine & R. C. Reigh. 1997. "Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L". *Aquaculture Nutrition* 3, núm. 1: 9-16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.1997.00068.x>.

- Cheng, Zongjia J., Keith C. Behnke & Warren G. Dominy. 2002. "Effects of Poultry By-Product Meal as a Substitute for Fish Meal in Diets on Growth and Body Composition of Juvenile Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*". *Journal of Applied Aquaculture*, 112, núm. 1: 71-83. https://doi.org/10.1300/J028v12n01_04.
- Cho, C. Y., & S. J. Kaushik. "Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)". 1989 In *World review of nutrition and dietetics*, 61, 132-172. Karger Publishers. <https://doi.org/10.1159/000417529>.
- Cottee, S. Y. y P. Petersan. 2009. "Animal welfare and organic aquaculture in open systems". *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 22, núm. 5: 437-461. <https://doi.org/10.1007/s10806-009-9169-2>.
- Cruz-Suárez, Lucía Elizabeth, Martha Nieto-López, Claudio Guajardo-Barbosa, Mireya Tapia-Salazar, Ulrike Scholz y Denis Ricque-Marie. 2007. "Replacement of fish meal with poultry by-product meal in practical diets for *Litopenaeus vannamei*, and digestibility of the tested ingredients and diets". *Aquaculture*, 272, núm. 1-4: 466-476. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.084>.
- Cruz-Suárez, Lucía Elizabeth, Mireya Tapia-Salazar, David Villarreal-Cavazos, Julio Beltran-Rocha, Martha Nieto-López, Andrea Lemme y Denis Ricque-Marie. 2009. "Apparent dry matter, energy, protein and amino acid digestibility of four soybean ingredients in white shrimp *Litopenaeus vannamei* juveniles". *Aquaculture*, 292, núm. 1-2: 87-94. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2009.03.026>.
- Davis, D. Allen., y C. R. Arnold. 1993. "Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*". *Aquaculture*, 114, núm. 3-4: 285-292. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90303-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90303-G).
- Davis, D. Allen y C. R. Arnold. 2000. "Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*". *Aquaculture*, 185, núm. 3-4: 291-298. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00354-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00354-3).
- Davis, D. Allen y Delbert M. Gatlin III. 1996. "Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans". *Reviews in Fisheries Science*, 4, núm. 1: 75-99. <https://doi.org/10.1080/10641269609388579>.
- Divakaran, S., Ian P. Forster y Mario Velasco. 2004. "Limitations on the use of shrimp *Litopenaeus vannamei* midgut gland extract for the measurement of in vitro protein digestibility". *Aquaculture*, 239, núm. 1-4: 323-329. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2004.06.004>.
- Ekasari, Julie, Utomo Adi Nugroho, Nurul Fatimah, Deasy Angela, Yuni Puyi Hastuti Gde Sasmita Pande & F. M. Natrah. 2021. "Improvement of biofloc quality and growth of *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc systems by *Chlorella* addition". *Aquaculture International*, 29, núm. 5: 2305-2317. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00750-1>.
- Forster, Ian, W. Dominy, L. Obaldo & A.G.J. Tacon. 1991. "Rendered meat and bone meals as ingredients of diets for shrimp *Litopenaeus vannamei*". *Aquaculture* 219, 655-670. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00457-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00457-X).
- Forster, Ian, Jerry Babbitt y Scott Smiley. 2004. "Nutritional quality of fish meals made from by-products of the Alaska fishing industry in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)". *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 13, núm. 2: 115-123. https://doi.org/10.1300/J030v13n02_10.
- Francis, George, Harinder P.S. Makkar & Klaus Becker. 1993. "Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish". *Aquaculture*, 199, núm. 3-4: 197-227. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00526-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00526-9).
- Hardy, Ronald W. 2010. "Utilization of plant proteins in fish diets: Effects of global demand and supplies of fishmeal". *Aquaculture Research*, 41, núm. 5: 770-776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x>.

- Hernández, Crisantema, Jazmín Sarmiento-Pardo, Blanca González-Rodríguez e Isabel De La Parra. 2004. "Replacement of fish meal with co-extruded wet tuna viscera and corn meal in diets for white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone)". *Aquaculture Research*, 35, núm. 12: 1153-1157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01139.x>.
- Huang, Mei-Ying, Bich NgocTruong, Tan Phat Nguyen, Huei-Jen Ju & Po-Tsang Lee. 2024. "Synergistic effects of combined probiotics *Bacillus pumilis* D5 and *Leuconostoc mesenteroide* B4 on immune enhancement and disease resistance in *Litopenaeus vannamei*". *Developmental & Comparative Immunology*, 1155, 105-158. <https://doi.org/10.1016/J.DCI.2024.105158>.
- Hulefeld, Richard, Habte-Michael Habte-Tsion, Ramanathan S. Lalgudi, Barry McGraw, Rob Cain, Kristy Allen, Kenneth R. Thompson, James H. Tidwell & Vikas Kumar. 2018. "Nutritional evaluation of an improved soybean meal as a fishmeal replacer in the diet of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*". *Aquaculture Research* 49, núm. 4: 1414-1422. <https://doi.org/10.1111/are.13593>.
- Irvin, S. J. & S. J. Tabrett. 2005. "A novel method of collecting fecal samples from spiny lobsters". *Aquaculture* 243, núm. 1-4: 269-272. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2004.10.001>.
- Kloas, Werner, Roman Groß, Daniela Baganz, Johannes Graupner, Henrik Monsees, Uwe Schmidt, Georg Staaks, Johanna Suhl, Martin Tschirner, Bernd Wittstock, Sven Wuertz, Andrea Zikova & Bernhard Rennert. 2015. "A new concept for aquaponic systems to improve sustainability, increase productivity, and reduce environmental impacts". *Aquaculture Environment Interactions* 7, núm. 2: 179-192. <https://doi.org/10.3354/aei00146>.
- Kumar, Vikash, Suvra Roy, Bijay Kumar Behera, Peter Bossier & Basante Kumar Das. 2021. "Acute hepatopancreatic necrosis disease (Ahpnd): Virulence, pathogenesis and mitigation strategies in Shrimp aquaculture". *Toxins*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/toxins13>, núm. 8.
- Leduc, Alexandre, Céline Zatylny-Gaudin, Marie Robert, Erwan Corre, Gildas Le Corguille, Hélène Castel, Antoine Lefevre-Scelles, Vicent Fournier, Enric Gisbert, Karl B. Andree, & Joel Henry. 2018. "Dietary aquaculture by-product hydrolysates: Impact on the transcriptomic response of the intestinal mucosa of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed low fish meal diets". *BMC Genomics*, 19, núm. 1: 396. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-4780-0>.
- Lightner, D. V., R. V. Redman, C. R. Pantoja, K. F. J. Tang, B. L. Noble, P. Schofield, L. L. Mohny, L. M. Nunan & S. A. Navarro. 2012. "Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in the Americas". *Journal of Invertebrate Pathology*, 110, núm. 2: 174-183. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.03.006>.
- Lim, Chhorn & Warren Dominy. 1990. "Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp (*Penaeus vannamei*)". *Aquaculture* 87, núm. 1: 53-63. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90210-E](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90210-E).
- López Belluga, Maria Dolores. 2010. (Acuicultura ecológica en el medio marino. Un caso práctico de producción en el Mediterráneo). *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios* 5, 51-60.
- Meisch, S., & M. Stark. 2019. "Recirculation Aquaculture Systems: Sustainable Innovations in Organic Food Production?". *Food Ethics*. 4, núm. 1: 67-84. <https://doi.org/10.1007/s41055-019-00054-4>.
- Mente, E., Stratakos, A., Bozariis, I. S., Kormas, K. A., Karalazos, V., Karapanagiotidis, I. T., Catsiki, V. A., & Leondiadis, L. 2012. (The effect of organic and conventional production methods on sea bream growth, health and body composition: A field experiment). *Scientia Marina* 76, núm. 3: 549-560. <https://doi.org/10.3989/scimar.03411.07C>.

- Molina-Poveda, César, Mariela Lucas & Miguel Jover. 2013. "Evaluation of the potential of Andean lupin meal (*Lupinus mutabilis* Sweet) as an alternative to fish meal in juvenile *Litopenaeus vannamei* diets". *Aquaculture* 410-411, 148-156. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2013.06.007>.
- Quan Tran, Hoang Trieu, Thi Hang Ho, Fan-Hua Nan, Chun-Hung Liu, Yeh-Fang Hu, Chou Min Chong, Clement R. de Cruz, Murni Karim, Ting-Jui Liu, I-Pei Kuo, Po-Tsang Lee. 2024. "Assessment of fish protein hydrolysate as a substitute for fish meal in white shrimp diets: Impact on growth, immune response, and resistance against *Vibrio parahaemolyticus* infection". *Fish & Shellfish Immunology* 150, 109-597. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2024.109597>.
- Sánchez-Muros, María José, Patricio Renteria, Antonio Vizcaino & Fernando G. Barroso. 2020. "Innovative protein sources in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feeding". *Reviews in Aquaculture* 12, núm. 1: 186-203. <https://doi.org/10.1111/raq.12312>.
- Scopel, Bruno Ricardo, Rodrigo Schweitzer, Walter Quadros Seiffert, Vinícius Pierri, Rafael da Fonseca Arantes, Felipe Do Nascimento Vieira & Luis Alejandro Vinatea. 2011. "Substitution of fish meal in diets for marine shrimp grown in a biofloc system | Substituição da farinha de peixe em dietas para camarões marinhos cultivados em sistema bioflocos". *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46, núm. 8: 928-934. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011000800020>.
- Shiu, Ya-Li, Saou-Lien Wong, Wang-Chen Guei, Yu-Chig Shin & Chun-Hung Liu. 2015. "Increase in the plant protein ratio in the diet of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), using *Bacillus subtilis* E20-fermented soybean meal as a replacement". *Aquaculture Research* 46, núm. 2: 382-394. <https://doi.org/10.1111/are.12186>.
- Suárez, J. A., G. Gaxiola, R. Mendoza, S. Cadavid, G. Garcia, G. Alanis, A. Suárez, J. Faillace & G. Cuzon. 2009. "Substitution of fish meal with plant protein sources and energy budget for white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)". *Aquaculture* 289, núm. 1-2: 118-123. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.01.001>.
- Sudaryono, Agung, Elena Tsvetnenko, Johannes Hutabarat, Supriharyono, & Louis H. Evans. 1999. "Lupin ingredients in shrimp (*Penaeus monodon*) diets: Influence of lupin species and types of meals". *Aquaculture* 171, núm. 1-2: 121-133. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00424-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00424-4).
- Suhl, Johanna, Dennis Dannehl, Werner Kloas, Daniela Baganz, Sebastian Jobs, Günther Scheibe & Uwe Schmidt. 2016. "Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics". *Agricultural Water Management*, 178, 335-344. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2016.10.013>.
- Tefal, Eslam, Ana Tomás-Vidal, Silvia Martínez-Llorens, Ignacio Jauralde, David Sánchez-Peñaranda & Miguel Jover-Cerdá. 2023. Effects of Eco-Organic Feed on Growth Performance, Biometric Indices, and Nutrient Retention of Gilthead Seabream "*Sparus aurata*". *Sustainability (Switzerland)* 15, núm. 14. <https://doi.org/10.3390/sul1410750>.
- Xie, Biao, Jun Qin, Hao Yang, Xia Wang, Yan Wang & Ting-You Li. "Organic aquaculture in China: A review from a global perspective". *Aquaculture* 414-415, 243-253. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2013.08.019>.
- Ye, J.-D., K. Wang, F.-D. Li, Y.-Z. Sun & X.-H. Liu. 2011. "Incorporation of a mixture of meat and bone meal, poultry by-product meal, blood meal and corn gluten meal as a replacement for fish meal in practical diets of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at two dietary protein levels". *Aquaculture Nutrition* 17, núm. 2. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00768.x>.
- Zheng, Bo, Gengzhuo Wang, Zhen Qu, Jingjie Hu, Zhenmin Bao & Mengqiang Wang. 2024. "Glycosaminoglycan lyase: A new competition between bacteria and the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*". *Developmental & Comparative Immunology* 156, 105-177. <https://doi.org/10.1016/J.DCI.2024.105177>.