

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DIETÉTICA DE HIDROLIZADO DE CAMARÓN SOBRE EL CRECIMIENTO Y EFICIENCIA ALIMENTICIA DEL ROBALO BLANCO

EFFECT OF THE DIETARY INCLUSION OF SHRIMP HYDROLYZATE ON GROWTH AND FEED EFFICIENCY OF WHITE SNOOK

Osuna-Lizárraga Guillermo Antonio¹, Lizárraga-Velázquez Cynthia Esmeralda², Escobedo- Lozano Amada Yerén^{3*}, Hernández Crisantema^{4*}

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i1.283>

¹Ingeniero Bioquímico, Instituto Tecnológico de Mazatlán, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Guillermo_3396@hotmail.com, (669) 2525153, Corsario 1, 203 Urías, CP 82070, Ciudad de Mazatlán Sinaloa, México

²Doctorado en ciencias, Instituto Tecnológico de Mazatlán, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, cynthia.lv@mazatlan.tecnm.mx, (669) 1293710, Corsario 1, 203 Urías, CP 82070, Ciudad de Mazatlán Sinaloa, México

³Doctorado en ciencias, Instituto Tecnológico de Mazatlán, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, amada.el@mazatlan.tecnm.mx, (669) 3838689, Corsario 1, 203 Urías, CP 82070, Ciudad de Mazatlán Sinaloa, México

⁴Doctorado en ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Departamento de Acuicultura y Manejo Ambiental, chernandez@ciad.mx, Av. Sábalo Cerritos s/n, Mazatlán, Sinaloa 82112, México

*Autores de correspondencia: chernandez@ciad.mx; amada.el@mazatlan.tecnm.mx

Resumen -- Los hidrolizados de residuos de camarón (HRC) son usados para mejorar el rendimiento productivo de diferentes especies de peces. Este estudio determinó el efecto de la sustitución dietética de proteína de harina de pescado (HP) por hidrolizado de residuos de camarón (HRC) sobre el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la composición corporal de juveniles de robalo blanco del pacífico, *Centropomus viridis*. Los residuos de camarón fueron tratados enzimáticamente (bromelina) para obtener el HRC. Tres dietas isonitrogenadas (47-48% proteína) e isoenergéticas (18.81-19.25 kJ/ g) fueron formuladas por reemplazamiento del 0%, 4% y 6% de proteína de la HP con la HRC. Los peces (peso promedio inicial individual de 44 g) fueron alimentados con las dietas experimentales (n = 24 peces por dieta) por 45 días. El peso ganado (PG), la tasa específica de crecimiento (TEC), la tasa de conversión alimenticia (TCA), la tasa de eficiencia proteica (TEP), la supervivencia y la composición proximal inicial y final del cuerpo entero del robalo fueron analizados. Los peces alimentados con la dieta control (0% de HRC) presentaron los mejores resultados en crecimiento (PG y TEC) y eficiencia alimenticia (TCA e TEP). Los valores de TCA no mostraron diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento con inclusión del 4% de HRC. La TEP fue significativamente mayor en el tratamiento control, que en los tratamientos con inclusión de HRC. En general, las dietas con inclusión de HRC impactaron negativamente ($p<0.05$) en el crecimiento (PG y TEC) de los organismos. La supervivencia no fue afectada ($p>0.05$) por ninguno de los tratamientos. Los valores de lípidos y cenizas en el cuerpo entero del robalo, fueron mayores en el tratamiento control que en los tratamientos con inclusión de HRC. En conclusión, el HRC obtenido bajo estas condiciones y usado en este

estudio, no tiene potencial para ser usado en el diseño de alimento para robalos. El rediseño de la obtención del HRC podría funcionar en futuros estudios.

Palabras Clave: cáscara y cabeza de camarón, hidrólisis enzimática, bromelina, *Centropomus viridis*

Abstract -- Shrimp waste hydrolysates are used to improve the growth performance of different fish species. This study determined the effect of dietary replacement of fishmeal protein (HP) with shrimp waste hydrolyzate (SWH) on the growth, feed efficiency, and body composition of juvenile white snook *Centropomus viridis*. Shrimp waste were treated enzymatically (bromelain) to obtain the SWH. Three isonitrogenous (47-48% protein) and isoenergetic (18.81-19.25 kJ/g) diets were formulated by replacing 0%, 4%, and 6% HP protein with SWH. Fish (initial weight 44 g) were fed the experimental diets (n = 24 fish per diet) for 45 days. Weight gained (WG), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER), survival, and proximal whole-body composition of snook were analyzed. The fish fed the control diet (0% SWH) presented the best results in growth (WG and SGR) and feed efficiency (FCR and PER). The FCR values did not show significant differences between the control and treatment, including 4% SWH. The PER value was significantly higher in the control treatment than in the treatments, including SWH. In general, diets including SWH had a negative impact ($p<0.05$) on the growth (WG and SGR) of the organisms. Survival was not affected ($p>0.05$) by any treatments. Lipid, and ash values in the whole body of white snook were higher in the control treatment than in the treatments with SWH inclusion. In conclusion, the SWH obtained under these conditions and used in this study has no potential to be

used in the design of feed for white snook. The redesigning of the SWH acquisition could work in future studies.

Key words – Shrimp shell and head, enzymatic hydrolysis, bromelain, *Centropomus viridis*

INTRODUCCIÓN

La gran demanda de pescado para el consumo humano en el mundo ha obligado a la industria acuícola a usar nuevas especies de peces con potencial comercial. El robalo blanco del pacífico, *Centropomus viridis*, es un pez carnívoro de aguas salobres, el cual demanda alto contenido de proteína en su dieta y tiene potencial para la acuicultura comercial intensiva debido a la calidad y el sabor de su carne [1]. La disminución de la oferta de esta especie, debido a la disminución de la población natural por presiones antrópicas, ha aumentado su demanda y precio de mercado. Es por ello, que existe un creciente interés por la producción controlada de esta especie [2]. Sin embargo, los hábitos carnívoros de *C. viridis* [3], plantean desafíos para el diseño de alimentos específicos para esta especie. La harina de pescado (HP) es la principal fuente de proteína dietética para peces carnívoros, debido a que estimula un mejor crecimiento [4]. Sin embargo, la HP podría representar hasta un 50% del total de los costos de producción del alimento acuícola [5].

El uso de fuentes de proteína menos costosas que proporcionen un crecimiento satisfactorio es una ventaja tanto para los fabricantes de alimentos acuícolas como para los productores acuícolas. Por lo tanto, actualmente los alimentos para peces carnívoros son diseñados a base de proteína de la HP y de proteína vegetal como la harina de soya, la cual es relativamente barata, con alto valor nutricional y presenta un buen balance de aminoácidos [6, 1]. El uso de proteínas vegetales en la dieta para peces carnívoros ha mostrado resultados favorables en el crecimiento de estos organismos, por lo tanto, su uso es cada vez más frecuente. [1] reportó que el robalo blanco es capaz de digerir dietas con alto contenido de harina de soya. No obstante, debido a la alta demanda de proteína por acuicultura, es conveniente explorar aditivos sustentables que sustituyan parcialmente la proteína de la HP, promuevan el crecimiento de los peces carnívoros cultivados, reduzcan los costos de producción comercial y permitan alcanzar el potencial acuícola de esta especie.

La revalorización de los residuos del procesamiento de productos pesqueros y acuícolas, en aditivos con proteína de alta calidad para el desarrollo de alimentos acuícolas más eficientes cobra importancia. El camarón es ampliamente consumido en México y en el mundo, por lo que su demanda incrementa cada año. A su vez, el consumo de este crustáceo genera una gran cantidad de residuos, entre los que destacan la cabeza y la cáscara, los cuales normalmente terminan vertidos en rellenos sanitarios, lo que causa contaminación ambiental [7, 8].

Estos residuos son ricos en proteínas, quitina y pigmentos [8]. Por lo tanto, la transformación de éstos en hidrolizados proteicos puede servir como un aditivo dietético de alta calidad, debido principalmente a la presencia de oligopéptidos [7], aminoácidos libres [9] y pigmentos con propiedades bioactivas [10].

Múltiples investigaciones han demostrado que la sustitución dietética de la HP por hidrolizados de residuos de camarón HRC, mejoran el rendimiento productivo de diferentes especies de peces de importancia comercial. Por ejemplo, [11, 12, 13, 14 y 15] reportaron que la inclusión dietética de HRC mejora el crecimiento y la eficiencia alimenticia del besugo rojo, *Pagrus major*; la cobia, *Rachycentron canadum* L.; el pez gato, *Pangasius hypophthalmus*, y la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, respectivamente, por lo que su uso a escala comercial sería prometedor para la industria acuícola. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue, evaluar el efecto de la sustitución dietética de la proteína de la HP por la proteína de la HRC sobre el crecimiento, eficiencia alimenticia y composición corporal de juveniles de robalo blanco del pacífico, *Centropomus viridis*.

DESARROLLO

Análisis químico de ingredientes

Los contenidos de materia seca, proteína cruda, lípidos crudos y cenizas de los ingredientes usados en las dietas fueron analizados por los métodos descritos en la Asociación Oficial de Químicos Analistas [16]. La materia seca (método 4.1.06) fue determinada gravimétricamente por secado de la muestra en horno a 105°C por 12 h. La proteína cruda (método 954.03) fue determinada con un micro-Kjeldahl ($N \times 6.25$). Los lípidos crudos (método 4.5.05) fueron determinados con éter de petróleo usando un sistema de extracción automático Foss Soxtec Avanti 2050 (Foss Soxtec, Hoganas, Sweden). El contenido de cenizas (method 32.1.05) fue analizado por calcinación de la muestra a 550°C por 6 h en una mufla (Fisher Scientific International, Inc. Pittsburgh, PA, USA). Los valores altos de cenizas observados (Tabla 1) se atribuyen principalmente a la presencia de fosfato de potasio, el cual fue usado en la preparación del HRC (ver apartado “Preparación del hidrolizado”).

Tabla 1. Composición proximal (g/100 g MS) del HRC

Composición proximal	HRC
Proteína	20.2±0.00
Lípidos	3.15±0.03
Cenizas	51.23±0.59
ELN	11.43±0.00

Los valores son la media ± desviación estándar (n=5).

Preparación del hidrolizado

Las cáscaras y cabezas de camarón (*Penaeus vannamei*) fueron lavadas con agua potable, secadas en horno 65 °C por 6 h y molidas hasta un tamaño de partícula de 0.25 mm usando una licuadora industrial (modelo T2L marca tapisa). Las cáscaras y cabezas de camarón secas fueron almacenadas en recipientes herméticos a 4°C.

La preparación del HRC se realizó siguiendo la metodología descrita por [17]. Se pesaron 50 g de cáscara y 50 g de cabeza de camarón, y se mezclaron con 56 g de enzima bromelina y 500 mL de agua destilada. El pH de la mezcla se ajustó a 9 con una solución tampón de fosfato de potasio dibásico (pH 11). La mezcla reacción se mantuvo a 50 °C por 3 h, y la enzima fue inactivada a 90°C por 20 min. El HRC fue separado de los desechos desproteinizados por centrifugación a 2500 rpm por 15 min. La composición proximal del HRC se analizó por los métodos estandarizados [16], descritos en la sección “Análisis químico de ingredientes”. El alto contenido de cenizas en el HRC (Tabla 1) se atribuye principalmente a la presencia de fósforo y potasio, los cuales se usaron para proporcionar un pH óptimo para la enzima bromelina.

Dietas experimentales

Tres dietas isonitrogénicas (47-48% proteína cruda) e isoenergéticas (18.81-19.25 kJ/ g) fueron formuladas por sustitución del 0% (D-Control), 4% (DHRC4) y 6% (DHRC6) de proteína de harina de pescado por la proteína del HRC. Todas las dietas fueron formuladas con los mismos niveles de macronutrientes (pasta de soya, harina de krill, harina de calamar, gluten de maíz, lecitina de soya y alginato) y micronutrientes (vitaminas y minerales, antioxidante, DL-metionina, fitasa, vitamina C) (Tabla 2). El aceite de pescado varió entre las dietas según la inclusión del HRC. Los micronutrientes fosfato y carotenoides fueron adicionados únicamente a la dieta control, debido a que las dietas con el HRC contenían fosfatos (tampón de fosfato de potasio dibásico usado en el proceso de obtención del hidrolizado) y carotenoides, los cuales se encuentran presentes naturalmente en las cáscaras y cabezas de camarón [10]. Todas las dietas fueron completadas con dextrina hasta ajustar el contenido calórico con base en el requerimiento nutricional de los peces.

Los contenidos de materia seca, proteína cruda, lípidos crudos y cenizas de las dietas experimentales (Tabla 2) fueron determinados de acuerdo con lo descrito en la sección “Análisis químico de los ingredientes”. La energía bruta de las dietas fue calculada de acuerdo con los valores de energía de proteína (23.4 kJ/g), lípidos (39.8 kJ/g), y extracto libre de nitrógeno (17.2 kJ/g) [18].

Tabla 2. Formulación y composición proximal de las dietas experimentales

Ingredientes (g/kg)	D-Control	DHRC4	DHRC6
Harina de pescado ^a	380	363	358
HRC ^b	0	40	60
Pasta de soya ^c	300	300	300
Harina de krill ^d	70	70	70
Harina de calamar ^e	70	70	70
Gluten de maíz ^f	80	80	80
Aceite de pescado ^g	15	15	10
Dextrina ^g	40.05	18.35	8.35
Alginato ^g	20	20	20
Fosfato de calcio dibásico ^h	0.5	0	0
Mezcla de vitaminas y minerales ⁱ	4.5	4.5	4.5
DL-metionina ^h	2.6	2.6	2.6
Fitasa ^f	0.05	0.05	0.05
Vitamina C ^f	1.0	1.0	1.0
Antioxidante ^f	0.5	0.5	0.5
Lecitina de soya ^f	15	15	15
Carotenoides ^f	0.8	0	0
Composición (g/kg materia seca)			
Proteína cruda	47.0	48.65	48.4
Lípidos crudos	9.67	9.45	9.66
Cenizas	9.59	10.81	11.51
ELN ^j	27.07	24.01	23.51
Energía (KJ/g)	19.25	18.97	18.81

^a Selecta de Guaymas, S.A. de C.V. Guaymas, Sonora, Mexico.

^b Hidrolizado de subproductos de camarón

^c Proteínas Marinas y Agropecuarias, S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, Mexico.

^d PROAQUA, S.A. de C.V. Mazatlán, Sinaloa, Mexico.

^e La harina de calamar se elaboró a partir de manto de calamar fresco.

^f DSM Nutritional Products Mexico S.A. de C.V., El Salto, Jalisco, Mexico.

^g Droguería Cosmopolita, S.A. de C.V. Mexico, D.F., Mexico.

^h Sigma-Aldrich Chemical, S.A. de C.V. Toluca, Mexico State, Mexico.

ⁱ Trouw Nutrition Mexico S.A. de C.V. *Composición de mezcla de vitaminas: Vitamina A, 10,000,000 IU o mg/g; Vitamina D3, 2,000,000 IU; Vitamina E, 100,000 g; Vitamina K3, 4.00 g; Tiamina B1, 8.00 g; Riboflavina B2, 8.70 g; Piridoxina B6, 7.30; Vitamina B12, 20.00 mg; Niacina, 50.00 g; Ác. pantoténico, 22.20 g; Inositol, 153.80 g; Ác. nicotínico, 160.00 g; Ácido fólico, 4.00 g; 80 mg; Biotina, 500 mg; Vitamina C, 100.00 g; Colina 300.00 g, Excipiente q.s. 2000.00 g. **Composición de

premezcla de minerales: Manganeso, 100 g; Magnesio, 45.00 g; Zinc, 160 g; Hierro, 200 g; Cobre, 20 g; Iodo, 5 g; Selenio, 400.00 mg; Cobalto 600.00 mg. Excipiente q.s. 1500.00 g.

^j Extracto libre de nitrógeno = 1000 - (g/kg proteína cruda + g/kg lípidos crudos + g/kg cenizas).

Cultivo de peces y condiciones de alimentación

Los juveniles de robalo blanco del pacífico fueron obtenidos de un mismo lote de desove de reproductores parentales silvestres, siguiendo los protocolos de desove y crianza de larvas descritos por [19] en el Centro para la Alimentación y el Desarrollo (CIAD), Mazatlán, México. Al inicio del bioensayo experimental todos los peces fueron anestesiados en solución de aceite de clavo (0.5 mL/L agua) por 10 min para determinar su peso promedio inicial.

Un diseño experimental completamente al azar con tres réplicas (8 peces por réplica) para cada una de las dietas experimentales, fue usado para evaluar el crecimiento y la eficiencia alimenticia de robalo blanco cultivado por 45 días. Un total de 72 peces (peso promedio inicial 44.51 ± 0.08) fueron colocados en un tanque cilíndrico de fibra de vidrio (volumen de 300 L). Cada tanque fue equipado con un desagüe central de 50 mm cubierto con una red de malla de 0.5 cm para evitar la fuga de peces y permitir la limpieza de estos. Los tanques fueron suministrados con un sistema de flujo continuo de agua de mar de 6 L/min (equivalente a 28.8 recambios diarios), aireación constante y mantenidos en un fotoperiodo natural. La temperatura, oxígeno disuelto y salinidad del agua fueron medidos diariamente usando un oxímetro multiparámetro YSI 55-25 FT (YSI Inc., Yellow Springs, Oh, USA) y mantenidos a 23 ± 1.2 °C, 5.99 ± 0.15 mg/L, and 34 ± 0.7 psu (Practical Salinity Unit) respectivamente a través del experimento.

Los peces fueron alimentados manualmente 3 veces al día (8:30 h, 12:30 h y 16:30 h). Los peces se alimentaron hasta saciedad. El alimento no consumido después de 1 h de cada alimentación fue removido con un sifón y secado en horno a 60°C para calcular el consumo de alimento. Los peces muertos fueron registrados para ajustar el índice de conversión alimenticia. Todos los procedimientos experimentales de este estudio cumplieron con la [20], especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

Crecimiento y eficiencia alimenticia

Los peces fueron pesados cada dos semanas y al final del experimento para determinar el índice de conversión alimenticia, el peso y la biomasa. Los peces fueron anestesiados en solución de aceite de clavo (0.5 mL/L agua) por 10 min y pesados individualmente. El crecimiento, la eficiencia alimenticia y la supervivencia fueron evaluados en términos de: Peso ganado (PG), tasa específica de crecimiento (TEC), Consumo de alimento

(CA), tasa de conversión alimenticia (TCA), tasa de eficiencia proteica (TEP) y la supervivencia (S). Las fórmulas utilizadas se muestran a continuación:

$$PG (g) = \text{peso promedio final (g)} - \text{peso promedio inicial (g)} \quad \text{Ec. 1}$$

$$TEC (\%/día) = 100 [((\ln \text{ peso promedio final}) - (\ln \text{ peso promedio inicial})) / \text{tiempo (días)}] \quad \text{Ec. 2}$$

$$CA (g/pez) = \sum_{i=1}^{45} [(\text{consumo total de alimento (g)}) / (\text{número de peces}) / \text{número de días}] \quad \text{Ec. 3}$$

$$TCA = CA / \text{peso ganado (g)} \quad \text{Ec. 4}$$

$$TEP = \text{peso ganado (g)} / \text{ingesta de proteína (g)} \quad \text{Ec. 5}$$

$$S (\%) = 100 [(\text{número final de peces}) / (\text{número inicial de peces})] \quad \text{Ec. 5}$$

Composición proximal de los peces

Tres peces (un pez por tanque) fueron seleccionados aleatoriamente y eutanizados en una sobredosis de solución de aceite de clavo. La composición proximal del cuerpo entero de los peces fue analizada mediante el uso de los métodos estandarizados [16], como se describe en la sección “Análisis químico de ingredientes”.

Análisis estadístico de datos.

La normalidad de los datos se determinó mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, y la homocedasticidad por la prueba de Levene a un valor de significancia mayor al 5 %. Antes del análisis estadístico, los valores de supervivencia (%) se transformaron utilizando el arcoseno, pero los resultados se reportaron como porcentaje. El resto de las variables dependientes se analizaron con un análisis de varianza de una vía y para determinar diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey-Kramer. Las diferencias se consideraron a un nivel de significancia de 0.05. Para los análisis estadísticos se utilizó el software SigmaPlot, versión 11.0 (Systat Software Inc.).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Todas las dietas con inclusión de HRC redujeron significativamente el PG, TEC y el TEP de robalo blanco, con respecto al tratamiento control (Table 3). Los valores del CA fueron significativamente más bajos (31.61-33.19 g/pez) en los peces alimentados con las dietas con inclusión de HRC que en los organismos alimentados con la dieta control (48.85 g/pez). El valor de ICA fue significativamente más alto en el tratamiento DHRC6 que en los tratamientos D-Control y DHRC4. La supervivencia de los organismos no fue significativamente afectada por ninguno de los tratamientos dietéticos.

El PG y la TEC en los organismos del tratamiento control están directamente relacionados con los más altos valores de CA, TEP y el valor más bajo de TCA. Los resultados sobre PG, TEC, CA, TEP e TCA de los tratamientos DHRC4 y DHRC6, difieren de otros estudios en los que se analizó el crecimiento y la eficiencia alimenticia de peces alimentados con dietas

con inclusión de HRC. Por ejemplo, [21] reportaron que la inclusión dietética del 6% de HRC de cabezas de *Penaeus vannamei*, no tiene efectos negativos sobre los parámetros PG, TEC, CA e TCA de juveniles de cobia, sin embargo, el incremento de la inclusión de HRC (12% y 18%), redujo el crecimiento y la eficiencia alimenticia de esta especie. [22], observaron que la suplementación dietética del 2% de HRC *Penaeus vannamei*, incrementó hasta un 184.35 % el PG de juveniles de pez gato, *Pangasius hypophthalmus*. Por otra parte, [23], reportaron que la inclusión dietética del 5% de HRC incrementó el PG, la TEC, el TEP, el CA y redujo el TCA de juveniles de besugo rojo, *Pagrus major* alimentados con una dieta con alta concentración de harina de soya. Además, un estudio reciente reportó que la inclusión dietética de harina de cabeza de camarón (212.7 g/kg de alimento) mejoró el crecimiento y la eficiencia alimenticia del pargo flamenco (*Lutjanus guttatus*) [24]. En nuestro estudio, los decrementos observados en el PG y la TEC de los organismos alimentados con HRC, se debe probablemente a la presencia de altas concentraciones de fósforo en el HRC y por consecuencia en las dietas para los juveniles de robalo. Esto, ya que durante la obtención del HRC se agregó fosfato de potasio como solución buffer para activar a la enzima bromelina, dicha solución no fue removida, aunado a esto, es bien conocido que el exoesqueleto del camarón está conformado por carbonato de calcio [25], lo cual explica el alto contenido de cenizas reportado en el HRC (Tabla 1). De acuerdo con la literatura revisada, no hay estudios en peces que expliquen el efecto negativo de una alta ingesta de fósforo sobre el crecimiento. Sin embargo, estudios en mamíferos han reportado que la administración de una dieta rica en fósforo provoca trastornos de la función renal, el metabolismo óseo y la función de las células vasculares [26], lo cual afecta directamente el crecimiento, por ejemplo, [27] reportaron que una dieta alta en fósforo (1.2% - 1.3%) reduce el crecimiento (menor peso corporal) de ratones Wistar de 1 mes de edad, así como el consumo de alimento. Por otra parte, Otro estudio reportó que la suplementación oral de 1.125 g/día de fósforo, reduce el peso corporal de ratas adultas obesas, y el consumo de alimento [28], esto último fue atribuido a la estimulación de la producción de ATP hepático, el cual transmite una señal aferente neural al sistema nervioso central lo que resulta en el decremento de la ingesta de alimento a través de la estimulación de la saciedad [29, 30]. Al respecto, [31] reportaron un incremento en la producción de ATP en el plasma de trucha arcoíris alimentada con una dieta suplementada con alto contenido de fosfato de potasio. Por lo tanto, con base en nuestros resultados, nosotros hipotetizamos que el mecanismo por el cual el fósforo afectó el crecimiento (PG y TEC) de los juveniles de robalos alimentados con DHRC4 y DHRC6, se encuentra relacionado con su participación en el control del consumo de alimentos a través de la estimulación de la producción de ATP, ya

que el CA fue reducido hasta un 65%. Adicionalmente, nosotros relacionamos el bajo CA con la disminución del TEP y la retención de proteína corporal (Tabla 4) en los organismos alimentados con la dieta DHRC6. No obstante, estudios adicionales sobre el efecto del exceso de fósforo dietético en peces son necesarios para confirmar nuestros hallazgos.

Tabla 3. Crecimiento, eficiencia alimenticia y sobrevivencia del robalo blanco del pacifico alimentado con dietas experimentales por 45 días.

Parámetro	Dietas experimentales		
	D-Control	DHRC4	DHRC6
PI (g)	44.51±0.08 ^a	44.52±0.157 ^a	44.51±0.165 ^a
PF(g)	73.50±2.51 ^a	62.30±1.59 ^b	56.17±0.74 ^c
PG (g)	28.99±2.51 ^a	17.78±1.73 ^b	11.75±0.75 ^c
TEC (% d ⁻¹)	1.11±0.07 ^a	0.74±0.05 ^b	0.51±0.03 ^c
CA (g/pez)	48.85±3.86 ^a	31.61±2.84 ^b	33.19±2.69 ^b
TCA	1.68±0.01 ^b	1.77±0.00 ^b	2.85±0.0.09 ^a
TEP	1.26±0.01 ^a	1.15±0.01 ^b	0.72±0.0.02 ^c
S (%)	100 ^a	100 ^a	95.8 ^a

Los valores son la media ± DE. Las medias con diferente superíndice en cada fila son significativamente diferentes ($P < 0.05$), de acuerdo con la prueba de Tukey. PI= Peso inicial; PF= Peso final; PG= Peso ganado; TEC = Tasa específica de crecimiento; CA= Consumo de alimento; TCA = Índice de conversión alimenticia; TEP= Índice de eficiencia proteica; S = Supervivencia.

Los peces alimentados con el tratamiento DHRC6 presentaron un contenido de proteína cruda significativamente más bajo que los tratamientos D-Control y DHRC4 (Tabla 4). El contenido de lípidos crudos fue significativamente mayor en los peces alimentados con la dieta control (6.57%) que el resto de los tratamientos. Respecto al contenido de humedad, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El contenido de cenizas fue significativamente más bajo (4.88%) en los peces alimentados con DHRC6 que en los peces alimentados con D-control y DHRC4 (5.25% y 5.01%, respectivamente).

[32] demostraron que una dieta con alto contenido de fósforo promueve el gasto de energía en ratones, a través de la utilización de ácidos grasos en el hígado. [33]. reportaron un decremento en los niveles de grasa visceral y la inhibición de la expresión de genes lipogénicos hepáticos en ratas alimentadas con una dieta alta en fósforo. Por ello, nuestros resultados sobre reducción del contenido de lípidos corporal de los organismos alimentados con DHRC4 y DHRC6 son atribuidos al alto contenido de fósforo en las dietas. Por

otra parte, los bajos niveles de cenizas encontrados en el cuerpo de los organismos alimentados con las dietas DHRC4 y DHRC6 podrían atribuirse a una baja retención de los minerales fósforo y calcio en la estructura ósea de los organismos, esto debido a que un estudio previo reportó un incremento en la excreción de fósforo en las heces y orina de la trucha arcoíris alimentada con una dieta suplementada con fosfato de potasio y carbonato de calcio [31].

Tabla 4. Composición proximal del cuerpo entero del robalo blanco del pacífico alimentado con dietas experimentales por 45 días.

Parámetro	Dietas		
	D-control	DHRC4	DHRC6
Humedad (%)	66.72±1.15 ^a	68.47±1.46 ^a	68.13±1.72 ^a
Proteína cruda (%)	16.03±0.17 ^a	16.19±0.05 ^a	15.21±0.27 ^b
Lípidos crudos (%)	6.58±0.009 ^a	6.03±0.013 ^b	6.20±0.007 ^c
Ceniza (%)	5.25±0.003 ^a	5.01±0.006 ^b	4.88±0.005 ^c

CONCLUSIONES

La sustitución dietética de la HP con el HRC afectó negativamente el crecimiento y eficiencia alimenticia de los juveniles de robalo blanco. Las dietas con inclusión de HRC mostraron un decremento en el contenido de lípidos del cuerpo entero de *C. viridis*. Con base en estos hallazgos, el HRC obtenido (sin remoción de fosfato de potasio) y usado en este estudio, no tiene potencial para ser usado en el diseño de alimentos acuícolas. Estudios futuros sobre el rediseño de la obtención del HRC son necesarios para poder descartar el uso de este aditivo como promotor del crecimiento en robalo blanco. Además, la evaluación del HRC en otras especies es indispensable en el desarrollo de alimentos eficientes para especies marinas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue cofinanciada por CONACYT y el proyecto de peces marinos del CIAD, A.C.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Arriaga-Hernández, D., Hernández, C., Martínez-Montaña, E., Ibarra-Castro, L., Lizárraga-Velázquez, E., Leyva-López, N., & Chávez-Sánchez, M. C. (2021). Fish meal replacement by soybean products in aquaculture feeds for white snook, *Centropomus viridis*: Effect on growth, diet digestibility, and digestive capacity. *Aquaculture*, 530, 735823.

[2] Ibarra-Castro, L., Navarro-Flores, J., Sanchez-Tellez, J.L., Martinez-Brown, J.M., Ochoa-Bojorquez, L.A., Rojo-Cebreros, A.H., 2017. Hatchery production of pacific White snook at CIAD-Unity Mazatlan. Mexico. *World Aquaculture* 25. WWW.WAS.ORG.

[3] Macal-Lopez, K.C., Velazquez-Velazquez, E., Rivera-Velazquez, G., 2013. Diversidad y traslape del nicho trófico de los robalos (Perciformes: Centropomidae) en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, Mexico. *Lacandonia* 7, pp. 91–98.

[4] NRC, 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*, first ed. The National Academy Press, Washington DC.

[5] Rana, K.J., Siriwardena, S., Hasan, M.R., 2009. Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production. *FAO. Paper. 541 Fisheries and Aquaculture Technical. FAO, Rome*, p. 63. Paper. 541.

[6] Krishnan, H.B., Jez, J.M., 2018. The promise and limits for enhancing sulfur-containing amino acid content of soybean seed. *Plant Science*. 272, pp. 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.03.030>.

[7] Mathew, G. M., Mathew, D. C., Sukumaran, R. K., Sindhu, R., Huang, C. C., Binod, P., & Pandey, A. (2020). Sustainable and eco-friendly strategies for shrimp shell valorization. *Environmental Pollution*, 267, 115656.

[8] Wani, A. K., Akhtar, N., Rahayu, F., Suhara, C., Anjli, A., Chopra, C., & Américo-Pinheiro, J. H. P. (2023). Eco-friendly and safe alternatives for the valorization of shrimp farming waste. *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1–30.

[9] Nirmal, N. P., Santivarangkna, C., Rajput, M. S., & Benjakul, S. (2020). Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. *Trends in Food Science & Technology*, 103, pp. 20–35.

[10] Quintana-López, A., Hernández, C., Palacios, E., Manzano-Sarabia, N., & Hurtado-Oliva, M. A. (2021). Do by-products derived from farming and wild shrimp contain the same quantity of astaxanthin? *Journal Crustacean Biology*, 4 (1), pp. 1–3.

[11] Bui, H. T. D., Khosravi, S., Fournier, V., Herault, M., & Lee, K. J. (2014). Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates. *Aquaculture*, 418, pp. 11–16.

[12] Gunathilaka, B. E., Khosravi, S., Shin, J., Shin, J., Herault, M., Fournier, V., & Lee, K. J. (2021). Evaluation of shrimp protein hydrolysate and krill meal supplementation in low fish meal diet for red seabream (*Pagrus major*). *Fisheries and Aquatic Sciences*, 24 (3), pp. 109–120.

[13] Costa-Bomfim, C. N., Silva, V. A., Bezerra, R. D. S., Druzian, J. I., & Cavalli, R. O. (2017). Growth, feed efficiency and body composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766) fed increasing dietary levels of shrimp protein hydrolysate. *Aquaculture Research*, 48 (4), pp. 1759–1766.

[14] Teoh, C. Y., & Wong, Y. Y. (2021). Use of fish and shrimp hydrolysates as dietary supplements to increase feeding and growth of juvenile striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *Aquaculture International*, 29 (4), pp. 1885–1894.

[15] Rashidian, G., Abedian Kenari, A., & Nikkhah, M. (2021). Evaluation of antioxidative and antibacterial activities of fractionated hydrolysate from shrimp *Litopenaeus vannamei* head wastes against aquatic pathogenic bacteria. *Aquaculture Research*, 52 (8), pp. 3696-3704.

[16] AOAC, (2011). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. MD, 18th ed. Association of Official Analytic Chemists, USA.

[17] Younes, I., Ghorbel-Bellaaj, O., Nasri, R., Chaabouni, M., Rinaudo, M., & Nasri, M. (2012). Chitin and chitosan preparation from shrimp shells using optimized enzymatic deproteinization. *Process Biochemistry*. 47, pp. 2032–2039.

[18] Cho, C.Y., Slinger, S.J., & Bayley, H.S. (1982). Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry Physiology*. 73 (1), 25–41. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(82\)90198-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90198-5).

[19] Ibarra-Castro, L., & Alvarez-Lajonchere, L., (2011). GnRHa-induced multiple spawns and volition spawning of captive spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*, at Mazatlan, Mexico. *Journal World Aquaculture Society*. 42 (4), 564–574. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00499.x>.

[20] Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio.

[21] Costa-Bomfim, C. N., Silva, V. A., Bezerra, R. de S., Druzian, J. I & Cavalli, R. O. (2016). Growth, feed efficiency and body composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766) fed increasing dietary levels of shrimp protein hydrolysate. *Aquaculture Research*, 1-8. doi:10.1111/are.13013.

[22] Teoh, C. Y., & Wong, Y. Y. (2021). Use of fish and shrimp hydrolysates as dietary supplements to increase feeding and growth of juvenile striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *Aquaculture International*, 29 ,1885–1894. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00725-2>.

[23] Gunathilaka, B. E., Khosravi, S., Shin, J., Shin, J., Herault, M., Fournier, V., & Lee, K. J. (2021). Evaluation of shrimp protein hydrolysate and krill meal supplementation in low fish meal diet for red seabream (*Pagrus major*). *Fish Aquatic Science*, 24 (3):109-120. <https://doi.org/10.47853/FAS.2021.e11>

[24] Osuna-Salazar, A., Hernández, C., Lizarraga-Velázquez, C. E., Sánchez Gutiérrez, E. Y., Hurtado-Oliva, M. A., Benítez-Hernandez, A. & Ibarra-Castro, L. (2023). Improvement in spotted rose snapper growth and skin coloration after incorporation of shrimp head meal in diet. *Aquaculture Reports*, 30, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101599>.

[25] Sekimoto, A., Ohira, T., Shigematsu, A., Okumura, T., Mekuchi, M., Toyota, K., Mishima, H., Kawamura, R., Hatano, K., Kawago, U., Kitani, Y., Sekiguchi, T., Amornsakun, T., Hirayama, J., Hattori, A., Matsubara, H., & Suzuki, N. (2022). Análisis funcional de un péptido matriz implicado en la calcificación del

exoesqueleto del langostino kuruma, *Marsupenaeus japonicus*. *Aquaculture*, 559. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738437>.

[26] Chun, S., Chun, S., Bamba, T., Suyama, T., Ishijima, T., Fukusaki, E., Abel, K., & Nakai, Y. (2016). A High Phosphorus Diet Affects Lipid Metabolism in Rat Liver: A DNA Microarray Analysis. *PLOS ONE*, 1-8. DOI:10.1371/journal.pone.0155386.

[27] Huttunen, M. M., Tillman, I., Viljakainen, H. T., Tuukkanen, J., Peng, Z., Pekkinen, M., & Lamberg-Allardt, C. J. (2007). High dietary phosphate intake reduces bone strength in the growing rat skeleton. *Journal of Bone and Mineral Research*, 22 (1), 83-92.

[28] Ayoub, J. J., Samra, M. J. A., Hlais, S. A., Bassil, M. S., & Obeid, O. A. (2015). Effect of phosphorus supplementation on weight gain and waist circumference of overweight/obese adults: a randomized clinical trial. *Nutrition & diabetes*, 5 (12), e189-e189.

[29] Friedman M. I. (2007). Obesity and the hepatic control of feeding behavior. *Drug News Perspect*; 20, 573–578.

[30] Grundmann, S.M., Ress, K., Zimmermann, L., Höring, M., Liebisch, G., Most, E., Ringseis, R., & Eder, K. A. (2023). High-Phosphorus Diet Moderately Alters the Lipidome and Transcriptome in the Skeletal Muscle of Adult Mice. *Nutrients*, 15, 3734. <https://doi.org/10.3390/nu15173734>.

[31] Sugiura, S. H., Dong, F. M., & Hardy, R. W. (2000). Primary responses of rainbow trout to dietary phosphorus concentrations. *Aquaculture Nutrition*, 6 (4), 235–245. doi:10.1046/j.1365-2095.2000.00142.x

[32] Abuduli, M., Ohminami, H., Otani, T., Kubo, H., Ueda, H., Kawai, Y., & Taketani, Y. (2016). Effects of dietary phosphate on glucose and lipid metabolism. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 310 (7), E526-E538.

TABLA DE ROL DE CONTRIBUCIÓN

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Hernández Crisantema, Escobedo- Lozano Amada Yerén
Recursos	Hernández Crisantema, Escobedo- Lozano Amada Yerén
Redacción	Escobedo- Lozano Amada Yerén, Lizárraga-Velázquez Cynthia Esmeralda, Hernández Crisantema
Curación de datos	Lizárraga-Velázquez Cynthia Esmeralda
Metodología	Osuna-Lizárraga Guillermo Antonio



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.