

Obtención y evaluación de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales como alternativa de alimentación en *Piaractus brachypomus* (Cuvier 1818)

Y. J. Garcés^{1*}, C. Perea², N. J. Vivas³, J. L. Hoyos⁴

Recibido: 6 de octubre de 2020. Aprobado: 11 de abril de 2021

RESUMEN

En la industria acuícola, se vienen desarrollando acciones encaminadas a buscar fuentes proteicas alternativas palatables y de alto valor biológico para reemplazar las fuentes convencionales. Debido al potencial nutricional de los subproductos animales, se han adoptado tecnologías para su uso, como las técnicas de bioconversión por hidrólisis enzimática. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue obtener y evaluar un concentrado de proteína hidrolizada de residuos animales (CPHRA) como alternativa en dietas para *Piaractus brachypomus*. Las vísceras de los subproductos avícolas se evaluaron utilizando ácido fórmico y vísceras de trucha al 20% para promover la hidrólisis enzimática a un pH más bajo (pH 3,66). El producto resultante se utilizó en la formulación de dietas para determinar coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de energía y nutrientes, utilizando una dieta control () y tres dietas con inclusión de 10%, 20% y 30% de CPHRA (T1, T2 y T3). Se alimentaron por triplicado ciento veinte juveniles de híbridos de cachama blanca con un peso promedio de $145 \pm 3,0$ g. La CPHRA presentó alto contenido proteico y se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para los CDA de materia seca, proteína bruta, grasa bruta, energía bruta y absorción de cenizas, calcio y fósforo. Los CDA de nutrientes y energía estaban por encima del 80%. En consecuencia, el concentrado de proteína hidrolizada de los desechos de aves de corral tiene un gran potencial como alternativa proteica y energética de alto valor nutricional en la alimentación de los peces.

Palabras clave: alternativa proteica, cachama blanca, características nutricionales, digestibilidad aparente, subproductos avícolas.

¹ Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Cauca (Colombia). yejugaca@unicauca.edu.co

² Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Cauca (Colombia).

³ Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Cauca (Colombia).

⁴ Universidad del Cauca, Departamento de Agroindustria², Facultad de Ciencias Agrarias, Popayán, Cauca (Colombia).

Obtaining and evaluating hydrolyzed protein concentrate from animal waste as a feeding alternative in *Piaractus brachypomus* (Cuvier 1818)

ABSTRACT

The aquaculture industry aims to find new strategies to replace fishmeal in formulated diet-sources with high attraction and palatability and high biological value to replace conventional sources. Due to the nutritional potential of animal by-products, technologies have been adopted for their use, such as bioconversion techniques by enzymatic hydrolysis. Consequently, the objective of this study was obtaining and evaluating a hydrolyzed protein concentrate of animal waste (CPHRA, by its Spanish acronym) in diets for *Piaractus brachypomus*. Viscera from poultry by-products was evaluated by using formic acid and a 20% trout viscera to promote the catalyst at lower pH (3,66). The resulting product was used in feed formulation to determine the Apparent Digestibility Coefficient (ADC) of energy and nutrients, using a control diet (T0) and three diets with 10%, 20%, and 30% CPHRA (T1, T2 y T3). One hundred and twenty juveniles of hybrids of cachama blanca with an average weight of $145 \pm 3,0$ g were fed in triplicate groups. The CPHRA presented high protein content and significant differences ($p < 0,05$) were evidenced for the ADCs of dry matter, crude protein, crude fat, crude energy, and ash absorption, calcium and phosphorus. The ADCs for nutrients and energy were above 80%. Accordingly, the hydrolyzed protein concentrate from poultry waste has great potential as a protein and energy alternative of high nutritional value in fish feeding.

Keywords: Protein alternative, *Piaractus brachypomus*, nutritional characteristics, apparent digestibility, poultry by-products.

INTRODUCCIÓN

Un factor de alto interés en la acuicultura son los piensos, debido a la importancia de suministrar a las especies piscícolas alimentos balanceados de alta calidad que tenga en cuenta sus necesidades nutricionales. Sin embargo, la alta demanda de harina de pescado para la elaboración de alimentos de calidad para el sector, resulta una seria limitante que impide cubrir la demanda de producción de pescado. La harina de pescado es la fuente proteica de mayor uso en la formulación de dietas para peces por su alto valor biológico (Hong *et al.* 2019; Javaherdoust *et al.* 2020; Sabbagh *et al.* 2019; Sanches *et al.* 2019).

El costo de las materias primas proteicas es elevado y la harina de pescado no es la excepción, teniendo en cuenta que su

disponibilidad se ha visto afectada por factores como la sobrepesca, estancamiento global de la pesca de captura, el cambio climático y el aumento de la demanda acuícola (Perea *et al.* 2018). En consecuencia, para que la industria acuícola siga en desarrollo, es necesario encontrar fuentes viables de proteína alternativa para reemplazar la harina de pescado. Estas deben ser palatables, con buenos contenidos de aminoácidos y de alto valor biológico (Corrêa *et al.* 2020; Hong *et al.* 2019; Siddik *et al.* 2019; Yamamoto *et al.* 2020).

Por otro lado, las industrias avícola y piscícola generan gran cantidad de residuos, los cuales son en cierta medida subutilizados o se eliminan de forma inadecuada causando problemas ambientales. Dichos subproductos constituyen principalmente

vísceras, las cuales si se utilizan podrían contribuir a reducir los costos de producción de los alimentos balanceados y disminuir la contaminación. Es conocido que dichos residuos poseen un alto contenido de proteína y lípidos de alta calidad, así como un perfil de aminoácidos relativamente similar a la harina de pescado; sin embargo, su inclusión dependerá del origen de los subproductos, la técnica de procesamiento aplicada, la forma de incorporación en la dieta, la fisiología digestiva y los requerimientos de la especie (Cabrera-Núñez *et al.* 2018; Javaherdoust *et al.* 2020; Marchán y Vergara 2020; Sanches *et al.* 2019; Wei *et al.* 2020; Yamamoto *et al.* 2020).

Teniendo en cuenta el potencial nutritivo que presentan los subproductos de origen animal, se han desarrollado tecnologías para su conservación y utilización. Una de ellas, es el proceso de autólisis, en el cual se pueden utilizar ácidos orgánicos (fórmico, acético, láctico y cítrico) y enzimas endógenas o exógenas que permitirán la bioconversión de los subproductos de bajo valor en proteína de alta calidad. Este nuevo producto, si no mejora, conserva su calidad original, mejorando la digestibilidad, para su posterior inclusión en la formulación de dietas para la alimentación de peces. A nivel mundial, se han realizado diversas investigaciones en las cuales se evalúan harinas, hidrolizados y aceites de subproductos de origen avícola y piscícola para la alimentación de diversas especies animales, demostrando que estos pueden sustituir o remplazar hasta en un 100% la harina de pescado en los piensos, sin afectar las variables zootécnicas (Abdullah Al *et al.* 2020; Barreto *et al.* 2016; Choi *et al.* 2020; Hong *et al.* 2019; Javaherdoust *et al.* 2020; Karapanagiotidis *et al.* 2019; Perea *et al.* 2017; Piñeros-Roldan *et al.*

2014; Sabbagh *et al.* 2019; Dos Santos *et al.* 2021; Siddik *et al.* 2019).

Respecto a lo anterior, se realizó una investigación con el objetivo de evaluar las características nutricionales del concentrado proteico hidrolizado de residuos animales y los coeficientes de digestibilidad aparente de nutrientes (materia seca, proteína cruda y extracto etéreo), la energía y la absorción de minerales (cenizas, calcio, fósforo) en dietas para la alimentación de juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) fase de engorde, para destacar su potencial nutricional como alternativa en la alimentación piscícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describen los materiales y métodos que se utilizaron para evaluar las características nutricionales, el coeficiente de digestibilidad aparente de nutrientes, la energía y la absorción de minerales del concentrado proteico hidrolizado de residuos animales en la alimentación de cachama blanca.

Localización

El estudio fue realizado en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad del Cauca (Popayán), localizado a 2°45'08.91" y 3°50'70.45" LN, con altura de 1,733 m s. n. m., temperatura media de 19°C, precipitación de 1,800 mm anuales.

Material biológico

Se utilizaron 120 juveniles híbridos de cachama blanca con un peso promedio de 145 ± 3,0 g; los cuales fueron obtenidos de una piscifactoría local comercial. También se utilizaron vísceras blancas de aves de engorde (*Gallus domesticus* L) y de trucha (*Oncorhynchus mykiss*), las cuales fueron obtenidas de plantas de sacrificio

locales, con el objetivo de garantizar el estado sanitario e inocuidad necesaria para la preparación del hidrolizado.

Esta investigación fue avalada por el Comité de Ética en Investigación Científica de la Universidad del Cauca, considerando que cumple con los estándares para este tipo de investigación (acta 6.1-1.25/009 del 18 mayo de 2018).

Preparación del hidrolizado

Para la preparación de los hidrolizados, se utilizó la siguiente matriz: hidrolizado de vísceras (HV) (80% de vísceras blancas de aves de engorde enteras + 20% de vísceras de trucha enteras). Las vísceras de trucha se adicionaron para aprovechar la capacidad enzimática que presentan y para facilitar el proceso de hidrólisis. A la matriz se le adicionaron 2,5% de ácido fórmico al 85% m/v, 0,25% benzoato de sodio como antifúngico y 0,1% butilhidroxitolueno (BHT) como antioxidante. Posteriormente, la matriz se homogenizó para iniciar el proceso de hidrólisis y se almacenaron en recipientes plásticos cerrados en proporciones de 40 kg con un espacio de cabeza del 30% durante 12 días a temperatura ambiente, tiempo en el cual finaliza la hidrólisis y se obtiene un producto estable química y nutricionalmente con un pH de 3,66, sin recuento de microorganismos, entre otras características (Perea *et al.* 2017).

Obtención de concentrado proteico hidrolizado

Una vez elaborado el hidrolizado de vísceras (HV), se procedió a obtener el concentrado proteico hidrolizado de residuos animales (CPHRA). Para ello, el hidrolizado entero se sometió a secado en horno Binder a 60°C, durante 6 horas, para retirar el 50% de la humedad. Luego, se

centrifugó a 4500 rpm durante 10 minutos con el fin de retirar la grasa sobrenadante, este procedimiento se realiza 2 veces. Una vez que se separó la grasa, se retiró de la parte proteica y se terminó de retirar la humedad mediante secado en horno a 60°C, durante 6 horas, lo que generó un producto con proteína cruda mayor al 50% y con grasa menor al 12%.

Caracterización nutricional

Se realizó el análisis proximal del CPHRA, HV y la matriz de vísceras de aves de engorde y trucha (VAT). Para el hidrolizado, la muestra fue tomada una vez terminada la hidrólisis y secado el producto. Se determinó el análisis proximal por los métodos AOAC 1990 humedad, cenizas, extracto etéreo por gravimetría (934,01, 942,04 y 920,39), proteína cruda por el método Kjeldahl (Kjeldahl 1883).

Obtención de las dietas extruidas para la evaluación de la digestibilidad

Para la evaluación de la digestibilidad aparente de la inclusión de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales en cachama blanca, se prepararon 4 dietas con el mismo contenido de proteína y energía digestible. Se utilizaron 4 dietas con los siguientes niveles de inclusión de CPHRA: 0% (control), 10%, 20% y 30%, como se presenta en la tabla 1.

Todas las materias primas (harina de pescado, torta de soya, harina de maíz amarillo, mogolla de trigo, harina de yuca, harina de trigo, aceite vegetal, entre otras) fueron pasadas por un tamiz de 425 μm , marcadas con Cr_2O_3 a razón del 1% del total formulado y homogenizadas en una batidora Simag SM-401 durante 40 minutos. Posteriormente, se realizó su extrusión a 123°C en un extrusor doble tornillo

marca Hake Polylab. Los *pellets* obtenidos se secaron en horno Binder a 50°C, durante 2 horas, para disminuir la humedad hasta el nivel adecuado. Finalmente, el concentrado

fue almacenado a temperatura ambiente en bolsas de polietileno para su posterior uso (Perea *et al.* 2017).

TABLA 1. Caracterización nutricional de las dietas

Ingredientes	(control)	T1 (10%)	T2 (20%)	T3 (30%)
Harina de pescado	22,20	14,30	6,00	0,00
Harina trigo	3,90	3,90	3,90	3,90
Aceite vegetal	4,99	4,04	3,38	1,33
Fosfato bicálcico	0,89	1,11	1,33	1,22
DL-metionina	0,39	0,51	0,64	0,74
L-lisina	0,00	0,14	0,24	0,30
Biomix ^I	2,00	2,00	2,00	2,00
Triptófano	0,34	0,40	0,47	0,52
Salvado de maíz	16,00	18,50	10,73	9,13
Torta de soya	14,00	14,00	14,00	12,00
harina de maíz amarillo	9,00	10,44	19,05	23,45
Mogolla de trigo	15,19	8,53	6,08	0,64
Harina de yuca	8,11	8,28	7,52	9,32
Carbonato de calcio	0,00	0,85	1,67	2,46
Bentonita	1,00	1,00	1,00	1,00
CPHRA ^{II}	0,00	10,00	20,00	30,00
Sal	1,00	1,00	1,00	1,00
Cr2O3	1,00	1,00	1,00	1,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Composición química (g Kg⁻¹ peso seco)				
PC (%)	261,8	261,8	261,8	261,8
EE (%)	9,41	9,14	8,47	6,92
FB (%)	2,32	2,06	1,70	1,37
Cenizas (%)	10,18	8,00	5,57	3,87
ED ^{III} (kcal/kg)	3100,9	3100,9	3100,9	3100,9
Ca (%)	1,55	1,55	1,55	1,55
P (%)	1,00	1,00	1,00	1,00

^I Premezcla de vitaminas, minerales y adictivos (Biomix SA©) (composición por kilogramo de producto): vitamina A (800.000 UI), vitamina D3 (300.000 UI), vitamina E (11,0 g), vitamina K (2,2 g), vitamina B12 (0,01 g), tiamina (0,6 g), riboflavina (3,6 g), piridoxina (5,6 g), biotina (0,08 g), ácido pantoténico (6,8 g), niacina (5,6 g), ácido fólico (1,0 g), vitamina C (25,0 g), cloruro de colina (70,0 g), yodo (0,3 g), selenio (0,05 g), hierro (6,0 g), cobre (1,2 g), zinc (16,0 g), manganeso (7,0 g), cobalto (0,1 g) y antioxidante (30,0 g).

^{II} Concentrado proteico hidrolizado de residuos animales.

^{III} ED (kcal/kgMS) = 4151 - (122 × %Cen) + (23 × %PB) + (38 × %EE) - (64 × FC)

Evaluación de la digestibilidad aparente de energía y nutrientes

Se determinó el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca, la proteína cruda, el extracto etéreo, la energía bruta y la absorción aparente de cenizas, calcio y fósforo. La cuantificación del óxido crómico de las heces y dietas experimentales se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (Williams *et al.* 1962). La digestibilidad de nutrientes se determinó a través de la ecuación 1, como lo plantea Austreng (1978).

Los peces fueron distribuidos en tanques cilindro-cónicos con capacidad de 250 l de agua de volumen útil, provistos de termostatos para mantener la temperatura en 26°C, simulando la temperatura del agua de la piscifactoría donde se obtuvieron los peces. Se adicionaron 10 organismos en cada uno. Las heces fueron recolectadas una vez al día (7.00 h) por sedimentación durante 20 días. Las heces húmedas recolectadas se centrifugaron a 5000 rpm, durante 15 minutos. Posteriormente, se empacaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se almacenaron en un congelador a -18°C para su posterior análisis (Perea *et al.* 2011).

Plan de manejo y evaluación de parámetros fisicoquímicos

Se realizó un lavado y una desinfección de tanques, pisos, paredes y equipos, previos al inicio de la evaluación, con hipoclorito de sodio a razón de 100 ppm. Se utilizaron 100 ml de azul de metileno a una concentración de 0,05 g L⁻¹ por tanque durante 5 días como tratamiento profiláctico. Además, se realizó un recambio de agua a razón de 80% por día (Perea *et*

al. 2018). Los peces fueron alimentados 3 veces al día (8.00 h, 12.00 h y 16.00 h) hasta saciedad aparente.

Verificando el cumplimiento de acuerdo con los requerimientos de la especie, se monitoreó la calidad fisicoquímica del agua cada 15 días por la metodología Nanocolor® con el Photometer PF-11. Los parámetros evaluados fueron oxígeno disuelto, pH, alcalinidad de carbonatos, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, amonio, nitritos y nitratos (test 0-82, test 72, test 0-15, test 0-26, met 822, met 041, test 0-069 y test 0-64, respectivamente). También se evaluó la temperatura, para ello se utilizó un termómetro digital de punzón.

Diseño experimental y análisis estadístico

Para la evaluación de la digestibilidad aparente, se utilizó un diseño completamente al azar, evaluando 4 tratamientos: 3 niveles de inclusión de CPHRA y la dieta control (sin inclusión de CPHRA). Cada tratamiento contó con 3 réplicas y cada réplica se tomó como 1 unidad experimental. Cada una de las variables determinadas fue analizada mediante la aplicación de un análisis de varianza ($p < 0,05$). Se utilizó el test de Duncan (Duncan 1955) para la comparación de la media, un valor de $\alpha < 0,05$ se tomó como diferencia significativa para destacar las diferencias entre los tratamientos. Para ello, se empleó el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9,4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones fisicoquímicas analizadas del agua estuvieron dentro de los límites

$$\text{Digestibilidad de nutrientes (\%)} = 100 - 100 \left(\frac{\% \text{ de Cr}_2\text{O}_3 \text{ en la mezcla}}{\% \text{ de Cr}_2\text{O}_3 \text{ en las heces}} \times \frac{\% \text{ de nutrientes en las heces}}{\% \text{ de nutrientes en la mezcla}} \right) \quad (1)$$

aceptables para la producción de especies de aguas cálidas como la cachama blanca test: 0-64 (Perea *et al.* 2018). La temperatura del agua fue de $26,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$; el pH, $6,8 \pm 0,0$; el oxígeno disuelto, $5,1 \pm 0,0 \text{ mg/L}$; la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), $3,98 \pm 0,1 \text{ mg/L}$; la demanda química de oxígeno (DQO), $1,5 \pm 0,0 \text{ mg/L}$; la alcalinidad de carbonatos (CaCO_3), $0,9 \pm 0,0 \text{ m mol/L}$; el amoníaco, $1,2 \pm 0,1 \text{ mg/L}$; los nitratos, $0,6 \pm 0,0 \text{ mg/L}$; y los nitritos, $0,1 \pm 0,0 \text{ mg/L}$.

Características físicas de los extruidos obtenidos

El alimento obtenido en el proceso de extrusión presentó 5 mm de longitud y 4,5 mm de diámetro. Asimismo, las dietas, T1 y T2 presentaron un peso promedio de $0,09 \pm 0,02 \text{ g}$ y humedad de $8,0 \pm 0,10\%$, mientras que la dieta T3 presentó un peso promedio de $0,08 \pm 0,02 \text{ g}$ y humedad de $8,0 \pm 0,12 \%$ y 8% . Las dietas mostraron un comportamiento similar en el proceso de extrusión, la expansión fue la misma debido a que los *pellets* presentaron el mismo peso y flotabilidad mínima de 20 minutos.

La palatabilidad de las dietas no fue afectada por la inclusión del CPHRA, debido a que los peces consumían vorazmente las dietas; lo anterior, producto de la

cantidad de aminoácidos libres y péptidos de bajo peso molecular presentes, los cuales tiene un efecto atractivo para los peces cuando este es incluido en el punto óptimo y en proporciones adecuadas. Algunos aminoácidos considerados con efecto estimulante son la cisteína, ácido glutámico, serina, glicina, alanina, prolina, metionina, arginina, valina y leucina, aminoácidos que han sido reportados como atrayentes, lo que explica su efecto estimulante en el consumo de alimento (Perea *et al.* 2018; Ribeiro *et al.* 2017; Sanches *et al.* 2019; Siikavuopio *et al.* 2017).

Características nutricionales

El análisis proximal de la matriz VAT, HV y del CPHRA se presenta en la tabla 2, en la que se muestra que el contenido de los distintos nutrientes es de alto potencial nutricional para ser incluido en alimento concentrado para la cachama blanca, debido a la presencia de contenidos apreciables de proteína y lípidos de alta calidad. Cabe destacar que el HV presenta características nutricionales similares en comparación con la matriz VAT; es decir, alto contenido de lípidos y proteína. Al respecto, Bringas-Alvarado *et al.* (2018) y Carvalho *et al.* (2017) reportan un comportamiento similar para ensilado de tilapia (*Oreochromis spp.*) y proteína

TABLA 2. Análisis proximal de vísceras, hidrolizados y concentrado proteico hidrolizado de residuos animales

Hidrolizado	Humedad (H %)	Extracto etéreo (EE %)	Proteína cruda (PC %)	Cenizas (CEN %)
VAT ¹	70,95±0,17	39,41±0,40	28,23±0,32	3,92±0,15
HA ²	7,25±0,16	48,52±0,33	26,86±0,34	4,49±0,09
CPHRA ³	7,91±0,18	11,51±0,40	51,80±0,32	6,69±0,17

¹Visceras de aves de engorde y trucha (VAT), ²hidrolizado de vísceras (HV), ³concentrado proteico hidrolizado de residuos animales (CPHRA).

hidrolizada de pescado. Sin embargo, el contenido de extracto etéreo es alto, por lo que se convierte en una limitante para ser incluido en altos porcentajes en la dieta, esto hace necesario extraer una considerable cantidad de lípidos para, así, aumentar los niveles de inclusión de la materia prima o, en su defecto, disminuir la incidencia de efectos extracalórico generado por las grasas.

Debido a la extracción de lípidos, el CPHRA muestra menor contenido de extracto etéreo y mayor porcentaje de proteína y cenizas, lo cual mejora su potencial nutritivo y posibilita su mayor inclusión en la dieta. Resultados similares fueron obtenidos por Prihanto *et al.* (2019), utilizando proteína hidrolizada de cabezas de pez Loro (*Chlorurus sordidus*), aunque los resultados de proteína ($20,37 \pm 2,33\%$), grasa ($3,92 \pm 0,38\%$) y cenizas ($4,19 \pm 0,66\%$) son inferiores a los obtenidos en el presente estudio, debido a la naturaleza de los subproductos. Diversos estudios reportan valores superiores a los obtenidos en el presente estudio para proteína de ave hidrolizada (6,43% de humedad, 78,18% de proteína, 8,11% de grasa) (Dos Santos *et al.* 2021), harina de subproductos de ave (60,52% de proteína, 23,38% de grasa, 4,11% de cenizas) (Hekmatpour *et al.* 2018); harina de subproductos avícolas (91,56% de materia seca, 68,50% de proteína cruda, 14,49% de lípidos crudos) (Ye *et al.* 2019); en harina de subproductos avícolas fermentados (65% de proteína, 8,1% de extracto etéreo, 4,6% de cenizas) (Dawood *et al.* 2020). En relación con lo anterior, es importante resaltar que la composición nutricional de las materias primas de origen animal depende de la naturaleza de los subproductos, la técnica de procesamiento y el método de extracción de los lípidos.

CDA de dietas con inclusión de concentrado proteico hidrolizado de vísceras

Los CDA de la materia seca de dietas con inclusión de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales estuvieron por encima del 93,68% (tabla 3). Debido a que el CPHRA es un producto obtenido a partir de residuos de origen animal con una cantidad considerable de nutrientes que pueden ser potencialmente aprovechados por el animal. Aun dependiendo del nivel de inclusión de CPHRA en la dieta (10% y 20%), no se presentan diferencias significativas en comparación con la dieta testigo que contiene harina de pescado. Diversas investigaciones en peces —en las que se evalúa la digestibilidad, el crecimiento, el aprovechamiento nutritivo, la retención de nutrientes y la utilización del alimento, entre otras— han reportado que los subproductos avícolas pueden aportar beneficios a estos organismos, sin indicios de efectos negativos (Dawood *et al.* 2020; Fontinha *et al.* 2021; Hekmatpour *et al.* 2018). Estos resultados fueron superiores a los citados por Fontinha *et al.* (2021) quienes evaluaron dietas con inclusión 0%, 7,5%, 15%, 22,5%, 30% y 37,5% de harina de subproductos avícolas en juveniles de *Sparus aurata*, obteniendo CDA para materia seca de 80,7%, 81,4%, 79,4%, 74,5%, 75,2% y 73,8%, respectivamente. También fueron superiores a los obtenidos por Hekmatpour *et al.* (2018) al evaluar dietas con inclusión entre 0% al 55% de harina de subproductos avícolas en *Sparidentex hasta*, quienes obtuvieron CDA de 75,84% y 81,51%. De igual manera, superaron a los reportados por Dos Santos *et al.* (2021), los cuales al evaluar la proteína hidrolizada avícola en *Oreochromis niloticus* obtuvieron 91,29% CDA. Además, Davies *et al.* (2020)

evaluaron ensilado de pescado químico y biológico, y reportan CDA de 32,4% y 58% en *Dicentrarchus labrax*. Soares *et al.* (2020) obtuvieron mejores CDA de materia seca con proteína hidrolizada de subproductos avícolas e hígado de cerdo que con proteína hidrolizada de subproductos avícolas. Estas diferencias podrían estar dadas por la naturaleza de los residuos, los métodos de procesamiento y el origen de los subproductos.

El CDA de proteína fue superior al 83,12% (tabla 3). Los resultados fueron significativamente mayores para T1, T2 y T3, comparados con . Esto puede deberse al proceso de hidrólisis enzimática en el CPHRA. La autólisis o hidrólisis enzimática genera una ruptura de las proteínas, proporcionando cadenas polipeptídicas de diferente longitud y aminoácidos libres, los cuales son fácilmente absorbidos por el tracto gastrointestinal de la cachama blanca. Además, la hidrólisis puede aumentar tanto la solubilidad de las proteínas entre 15 a 30% y triplicar la velocidad de absorción. Así, se generan péptidos de bajo peso molecular y aminoácidos libres, se

eliminan fracciones insolubles y se puede permitir el rápido aprovechamiento por los peces, a diferencia de los subproductos animales no hidrolizados (Chalamaiah *et al.* 2010; López *et al.* 2015; Dos Santos *et al.* 2021).

Los resultados obtenidos para el CDA de la proteína en el presente estudio son inferiores a los reportados por Dos Santos *et al.* (2021) al evaluar la proteína hidrolizada avícola en *Oreochromis niloticus* (90,84%) y a los obtenidos por Fontinha *et al.* (2021), quienes en juveniles de *Sparus aurata* reportaron CDA entre 89,7 y 92,8%. Hekmatpour *et al.* (2018) reportaron valores de CDA para proteína de 84,76%, 87,08% y 86,01% al utilizar dietas con 0, 15 y 25% de harina de subproductos avícolas en *Sparidentex hasta*, respectivamente.

Los CDA de extracto etéreo y energía no se vieron afectados negativamente por el reemplazo de harina de pescado por CPHRA. En ambas variables, el CDA fue estadísticamente mayor que la dieta control (ver tabla 3). Teniendo en cuenta el perfil de ácidos grasos aportados por

TABLA 3. Coeficientes de digestibilidad aparente de dietas con inclusión de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales

Variable (%)	(control)	T1 (10%)	T2 (20%)	T3 (30%)	Anova Pr > F
Materia seca	95,58 ± 0,07 ^a	94,05 ± 0,35 ^a	94,16 ± 0,32 ^a	93,68 ± 2,82 ^b	0,0020
Proteína cruda	83,12 ± 2,17 ^b	86,80 ± 1,17 ^a	88,69 ± 0,96 ^a	89,40 ± 0,87 ^a	0,0024
Extracto etéreo	82,87 ± 2,87 ^b	93,03 ± 0,23 ^a	95,91 ± 0,76 ^a	93,28 ± 0,17 ^a	0,0001
Energía bruta	74,30 ± 0,81 ^c	80,92 ± 1,63 ^b	85,19 ± 1,24 ^a	86,07 ± 0,08 ^a	0,0001
AACEN	32,10 ± 0,27 ^c	41,45 ± 1,85 ^b	45,17 ± 1,84 ^a	40,99 ± 1,27 ^b	0,0001
AACa	50,49 ± 0,46 ^d	55,31 ± 1,33 ^c	75,08 ± 0,67 ^a	70,61 ± 0,77 ^b	0,0001
AAP	51,37 ± 0,53 ^c	56,14 ± 1,12 ^b	64,48 ± 1,62 ^a	66,04 ± 1,49 ^a	0,0001

Letras diferentes en la misma fila difieren estadísticamente ($P < 0,05$). AACEN (absorción aparente de cenizas), AACa (absorción aparente de calcio), AAP (absorción aparente de fósforo)

el CPHRA, es posible decir que estos cuentan con una cantidad apreciable de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales tienen mejor absorción que los ácidos grasos saturados que presentan los aceites vegetales de la dieta control (Davies *et al.* 2020; Fontinha *et al.* 2021; Perea *et al.* 2017). Además, al bajar el pH, los lípidos se pueden emulsionar, facilitando la acción de la enzima lipasa, mejorando así la digestión y absorción de las grasas (Javaherdoust *et al.* 2020). Sin embargo, diversos estudios demuestran que factores como la especie utilizada, la calidad de la materia prima y el método de procesamiento hacen que se presente una gran variabilidad en los CDA de los nutrientes. En este trabajo, se observó que se mejora el CDA de energía y extracto etéreo con inclusión de hasta un 30% de CPHRA. Resultados similares en el CDA de energía fueron citados por Dos Santos *et al.* (2021) al evaluar la proteína hidrolizada avícola en *Oreochromis niloticus* (87,29%), Fontinha *et al.* (2021) en juveniles de *Sparus aurata* (87,4%) y Davies *et al.* (2020) en ensilado de pescado químico y biológico en *Dicentrarchus labrax* (73,4% y 77,3%). Resultados similares en CDA de extracto etéreo fueron presentados por Hekmatpour *et al.* (2018) al evaluar dietas con inclusión (0% al 55%) de harina de subproductos avícolas en *Sparidentex hasta* (85,67% y 93,33%). Estos concluyen que la inclusión, hasta un 25%, no genera efectos negativos en los peces.

Los CDA de cenizas, calcio y fósforo presentaron diferencias significativas entre los tratamientos: la dieta T2 (20% de inclusión de CPHRA) presentó los valores más altos para los CDA de cenizas y calcio, y para el fósforo fue T3 (30% de inclusión de CPHRA). Lo anterior quizá se deba a la utilización de ácidos orgánicos en el

proceso de hidrólisis. La acidez genera mayor solubilización de los nutrientes y se mejora la absorción de los minerales (Lim *et al.* 2015).

Los resultados del presente estudio son similares a los citados por Fontinha *et al.* (2021), al obtener porcentajes más altos en la absorción de fósforo en tratamientos con inclusión de harina de subproductos avícolas, en comparación con el control. Hekmatpour *et al.* (2018) concluyen que la absorción de calcio y fósforo mejora con la inclusión de hasta un 25% de harina de subproductos avícolas.

CONCLUSIÓN

El concentrado proteico hidrolizado elaborado con residuos animales tiene alto potencial de aprovechamiento en la alimentación piscícola por su buen contenido nutricional y alto coeficiente de digestibilidad de nutrientes y energía. Resulta evidente su gran viabilidad como fuente proteica y energética de alto valor nutricional para la alimentación piscícola. Se recomienda sustituir el 100% de la harina de pescado en la dieta para cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), lo que corresponde al 22,2% en la dieta.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Cauca, grupos de investigación Asubagroin y Nutrifaca; al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias), a las Asociaciones Apropesca, Agrica SA y Piscícola Salvajina SAT.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo financiero de Minciencias y el Fondo Nacional Patrimonio Autónomo de Ciencia, Tecnología e Innovación Francisco José de Caldas.

REFERENCIAS

- Abdullah Al M, Akhtar A, Sikder MNA, Alam MW, Zamal H. 2020. An approach to converting raw animal waste to fish feed formulation: A case study for sustainable industrial waste management using acid silage methods. *Indian J Geo-Marine Sci* [Internet]. [citado 2020 september 21]; 49(4):590–595. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329217996_An_approach_to_converting_raw_animal_waste_to_fish_feed_formulation_a_case_study_for_sustainable_industrial_waste_management_using_acid_silage_methods
- AOAC 1990. AOAC Official methods of analysis. 15.^a ed. Washington, D. C.: Assoc Off Agric Chem. 136-138.
- Austring E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*. 13(3):265-272. Doi: 10.1016/0044-8486(78)90008-X
- Barreto CF, Pares Sierra G, Correa Reyes G, Durazo Beltran E, Viana MT. 2016. Total and partial fishmeal substitution by poultry by product meal (petfood grade) and enrichment with acid fish silage in aquafeeds for juveniles of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Lat Am J Aquat Res*. 44(2):327–335. Doi: 10.3856/vol44-issue2-fulltext-13
- Bringas-Alvarado L, Zamorano-Ochoa A, Rojo-Rodríguez JB, Lizett González-Félix M, Pérez-Velázquez M, Luis Cárdenas-López J, Navarro-García G. 2018. Evaluación del ensilado fermentado de subproductos de tilapia y su utilización como ingrediente en dietas para bagre de canal. *Rev Ciencias Biológicas y la Salud*. 10(2):85–94. Doi: 10.18633/biotecnia.v20i2.604
- Cabrera-Núñez A, Daniel-Rentería I, Martínez-sánchez C, Alarcón-Pulido S, Rojas-Ronquillo R, Velázquez-Jiménez S. 2018. Aprovechamiento de subproductos avícolas como fuente proteica en la elaboración de dietas para rumiantes. *Abanico Vet*. 8(2):59–67. Doi: 10.21929/abavet2018.82.5
- Chalamaiah M, Narsing RG, Rao DG, Jyothirmayi T. 2010. Protein hydrolysates from meriga (*Cirrhinus mrigala*) egg and evaluation of their functional properties. *Food Chem*. 120(3):652–657. Doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.057
- Choi DG, He M, Fang H, Wang XL, Li XQ, Leng XJ. 2020. Replacement of fish meal with two fermented soybean meals in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquac Nutr*. 26(1):37–46. Doi: <https://doi.org/10.1111/anu.12965>
- Corrêa CF, Oliveira T da S, Leonardo AF, Reis Neto RV, Enke DBS. 2020. Acid fish silage in the diet of pacu and tambacu reared at cold suboptimal temperature. *Pesqui Agropecuária Bras*. 55(e01653):1–8. Doi: 10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01653
- Davies SJ, Guroy D, Hassaan MS, El-Ajnaf SM, El-Haroun E. 2020. Evaluation of co-fermented apple-pomace, molasses and formic acid generated sardine based fish silages as fishmeal substitutes in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) production. *Aquaculture*. 521:735087. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735087
- Dawood MAO, Magouz FI, Mansour M, Saleh AA, Asely AME, Fadl SE, Ahmed HA, Al-Ghanim KA, Mahboob S, Al-Misned F. 2020. Evaluation of yeast fermented poultry by-product meal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) feed: effects on growth performance, digestive enzymes activity, innate immunity, and antioxidant capacity. *Front Vet Sci*. 6:1-17. Doi: 10.3389/fvets.2019.00516
- Decarli JA, Pedron FA, Lazzari R, Signor A, Boscolo WR, Feiden A. 2016. Hidrolisados proteicos na alimentação do jundiá (*Rhamdia voulezi*). *Rev Bras Ciência Veterinária*. 23(3-4):168-173. Doi: 10.4322/rbcv.2016.051
- Dos Santos CM, Godoy AC, Oxford JH, Rodrigues R, dos Santos Cardoso M, Bittencourt F, Signor A, Boscolo WR, Feiden A. 2021. Apparent digestibility of protein hydrolysates

- from chicken and swine slaughter residues for Nile tilapia. *Aquaculture*. 530:735720. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735720
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple f tests: *Biometrics* [internet]. [Citado 2020 september 21]; 11(1):1–42. Disponible en: <http://garfield.library.upenn.edu/classics1977/A1977DM02600001.pdf>
- Fontinha F, Magalhães R, Moutinho S, Santos R, Campos P, Serra CR, Aires T, Oliva-Teles A, Peres H. 2021. Effect of dietary poultry meal and oil on growth, digestive capacity, and gut microbiota of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Aquaculture*. 530:735879. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735879
- Hekmatpour F, Kochanian P, Marammazi JG, Zakeri M, Mousavi SM. 2018. Inclusion of poultry by-product meal in the diet of Sparidentex hasta: Effects on production performance, digestibility and nutrient retention. *Anim Feed Sci Technol*. 241:173–183. Doi: 10.1016/j.anifeeds.2018.02.010
- Hong YC, Chien A, Sheen SS. 2019. The effects of replacement of fish meal protein with a mixture of poultry by-product meal, fish silage and fish protein hydrolysate on the growth performances of asian sea bass (*Lates calcarifer*). *J Mar Sci Technol*. 27(6):532-539. Doi: 10.6119/JMST.201912_27(6).0006
- Javaherdoust S, Yeganeh S, Amirkolaie AK. 2020. Effects of dietary visceral protein hydrolysate of rainbow trout on growth performance, carcass composition, digestibility and antioxidant enzyme in juvenile *Oncorhynchus mykiss*. *Aquac Nutr*. 26(1):134–144. Doi: 10.1111/anu.12975
- Karapanagiotidis IT, Psofakis P, Mente E, Malandrakis E, Golomazou E. 2019. Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity, haematological parameters and gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquac Nutr*. 25(1):3–14. Doi: 10.1111/anu.12824
- Kjeldahl J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für Anal Chemie* [internet]. [Citado 2020 sep 23]; 22:366–382. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01338151>
- López MJN, Salazar RDO, Izquierdo RCA. 2015. Coeficientes de digestibilidad de la harina de hidrolizado de vísceras de Cachamba Blanca (*Piaractus brachypomus* Cuvier 1818), usada como fuente de proteína en la alimentación de sus alevinos. *Acta Biol Par*. 44(1-2):7-16. Doi: 10.5380/abpr.v44i1-2.43731
- Marchán TA, Vergara RV. 2020. Evaluación de un concentrado proteico de subproductos de camal avícola en dietas de postura sobre el comportamiento productivo de la codorniz japonesa (*Coturnix japonica*). *Rev Inv Vet Perú*. 31(2):1–8. Doi: 10.15381/rivep.v31i2.17833
- Perea C, Garcés YJ, Hoyos JL, H. 2011. Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de tilapia roja (*Oreochromis* spp). *Biotechnol en el Sect Agropecu y Agroind* [internet]. [Citado 2020 sept 23]; 9 (1):60–68. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a08.pdf>
- Perea C, Hoyos CJL, Garcés caicedo YJ, Muñoz Arboleda LS. 2017. Evaluación de procesos para obtener ensilaje de residuos piscícolas para alimentación animal. *Cienc en Desarro*. 8(2):47-58. Doi: 10.19053/01217488.v8.n2.2017.6174
- Perea RC, Garcés CYJ, Muñoz ALS, Hoyos CJL, Gomez PJA. 2018. Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp. *Biotechnol sector agropecuario agroind*. 16(1):43. Doi: 10.18684/bsaa.v16n1.623
- Piñeros-roldan AJ, Gutiérrez-Espinosa MC, Castro-Guerrero SR. 2014. Sustitución total de la harina de pescado por subproductos avícolas suplementados con aminoácidos en dietas para juveniles de *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. *Orinoquia* [internet]. [Citado 2020 september 23]; 18(2):13-24. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v18n2/v18n2a02.pdf>
- Prihanto AA, Nurdiani R, Bagus AD. 2019. Production and characteristics of fish protein hydrolysate from parrotfish (*Chlorurus sordidus*) head. *PeerJ*. 7:e8297. Doi: 10.7717/peerj.8297
- Ribeiro M da S, Fonseca FAL da, Queiroz MN de, Affonso EG, Conceição LEC da, Gonçalves LU. 2017. Fish protein hydrolysate as an ingredient in diets for *Arapaima gigas* juveniles.

- Bol do Inst Pesca. 44(vol. esp.):85–92. Doi: 10.20950/1678-2305.2017.85.92
- Sabbagh M, Schiavone R, Brizzi G, Sicuro B, Zilli L, Vilella S. 2019. Poultry by-product meal as an alternative to fish meal in the juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) diet. Aquaculture [internet]. [Citado 2020 september 23]; 511:734220. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734220
- Sanches ADR, Oliveira SR De, Luczinski TG, Pinto PIG, Boscolo WR, Bittencourt F, Signor A. 2019. Palatability of protein hydrolysates from industrial byproducts for Nile tilapia juveniles. Animals. 9(6):311. Doi: 10.3390/ani9060311
- Siddik MAB, Howieson J, Fotedar R. 2019. Beneficial effects of tuna hydrolysate in poultry by-product meal diets on growth, immune response, intestinal health and disease resistance to *Vibrio harveyi* in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. Fish Shellfish Immunol. 89:61–70. Doi: 10.1016/j.fsi.2019.03.042
- Siikavuopio SL, James P, Stenberg E, Evensen T, Sæther BS. 2017. Evaluation of protein hydrolysate of by-product from the fish industry for inclusion in bait for longline and pot fisheries of Atlantic cod. Fish Res. 188:121–124. Doi: 10.1016/j.fishres.2016.11.024
- Silva TC da, Rocha JDM, Moreira P, Signor A, Boscolo WR. 2017. Fish protein hydrolysate in diets for Nile tilapia post-larvae. Pesqui Agropecu Bras. 52(7):485–492. Doi: 10.1590/s0100-204x2017000700002
- Soares M, Costa RP, Machado CN, Sousa RJ, Arana MM, Costa AT, Machado FD, do Nascimento Vieira F. 2020. Protein hydrolysates from poultry by-product and swine liver as an alternative dietary protein source for the Pacific white shrimp. Aquac Reports. 17:100344. Doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100344
- Wei Y, Liang M, Xu H. 2020. Fish protein hydrolysate affected amino acid absorption and related gene expressions of IGF-1/AKT pathways in turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquac Nutr. 26(1):145–155. Doi: 10.1111/anu.12976
- Williams CH, David DJ, Iismaa O. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. J Agric Sci. 59(3):381–385. Doi: 10.1017/S002185960001546X
- Yamamoto FY, de Cruz CR, Rossi W, Gatlin DM. 2020. Nutritional value of dry-extruded blends of seafood processing waste and plant-protein feedstuffs in diets for juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*, L.). Aquac Nutr. 26(1):88–97. <https://doi.org/10.1111/anu.12969>
- Ye H, Zhou Y, Su N, Wang A, Tan X, Sun Z, Zou C, Liu Q, Ye C. 2019. Effects of replacing fish meal with rendered animal protein blend on growth performance, hepatic steatosis and immune status in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂). Aquaculture. 511:734203. Doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734203

Forma de citación del artículo:

Garcés YJ, Perea C, Vivas NJ, Hoyos JL. 2021. Obtención y evaluación de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales como alternativa de alimentación en *Piaractus brachypomus* (Cuvier 1818) Rev Med Vet Zoot. 68(3): 223-235. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n3.99930>