



VALOR NUTRITIVO DE HARINA DE SUBPRODUCTOS Y HARINA DE SANGRE AVÍCOLAS EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE JUVENILES DE PACO (*Piaractus brachypomus*)

Nutritive value of poultry by-product meal and blood meal and the effect on the productive performance of paco juveniles (*Piaractus brachypomus*)

Roxana Pillaca Llamocca ^{1*}, Victor Vergara Rubín ²

¹ Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria la Molina Lima, Perú.

² Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

* E-mail: pillacall.roxana@gmail.com

Recibido: 19/07/2024; Aceptado: 30/10/2024; Publicado: 6/03/2025

ABSTRACT

Two experiments were conducted to determine the nutritional value of poultry by-products meal (PBM) and poultry blood meal (BM) in practical diets of paco juveniles (*Piaractus brachypomus*). First, a reference diet and two test diets that contained 70% reference diet and 30% of test ingredient were evaluated in paco juveniles to determine the Apparent Digestibility Coefficients (ADC) for dry matter, crude protein, lipid and energy. Feces were collected by the “Guelp” system and coefficients were calculated using chromic oxide as an inert marker; fish (336 ± 0.80 g) were fed to apparent satiation with pellet practical diets. In the second experiment, the effect of partial replacement of fish meal (FM) by rendered animal meal was studied. Fish (362 ± 0.75 g) were fed for 42 days with five isoproteic (32%) and isoenergetic (3.2 Mcal / kg) diets, the control diet containing 15% of FM and the other four diets were formulated with inclusion rates of 5% and 15% of PBM and BM. The apparent digestibility coefficients and digestible energy value of PBM compared to BM were as follows: ADC of dry matter were 71.46 and 61.52%, ADC of crude protein were 85.39 and 70%, ADC of lipid were 94.07 and 96.11 %, and the digestible energy values were 4556 and 3510 kcal/kg, respectively. Results showed that a 15% inclusion rate of PBM in paco juveniles diet statistically improved ($p < 0.05$) weight gain (WG), biomass gain (BG), growth rate (GR) and specific growth rate (SGR) compared to the other diets. Therefore, PBM can be used at the 15% inclusion rate in paco juveniles feed formulations.

Keywords: Digestibility | performance | *Piaractus brachypomus* | poultry blood meal | poultry by-product meal

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos para determinar el valor nutritivo de la harina de subproductos avícolas (HSA) y la harina de sangre avícola (HS) en dietas de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*). Para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para la materia seca, proteína cruda, lípidos y energía digestible, se

evaluaron una dieta de referencia y dos dietas de prueba que contenían un 70% de la dieta de referencia y un 30% del ingrediente de prueba en juveniles de paco. Las heces fueron recolectadas mediante el sistema "Guelp" y los coeficientes fueron calculados utilizando óxido crómico como marcador inerte; los peces (336 ± 0.80 g) fueron alimentados a saciedad aparente. En el segundo experimento, se estudió el efecto de la sustitución parcial de la harina de pescado (HP) por los subproductos avícolas. Los peces (362 ± 0.75 g) fueron alimentados durante 42 días con cinco dietas isoprotéicas (32%) e isoenergéticas (3.2 Mcal/kg). La dieta control contenía un 15% de HP y las otras cuatro dietas se formularon con tasas de inclusión del 5% y 15% de HSA y HS. Los coeficientes obtenidos de digestibilidad aparente y el valor energético digestible de HSA frente a la HS fueron los siguientes: CDA de la materia seca, 71.46% y 61.52%; los CDA de la proteína cruda, 85.39% y 70%; los CDA de los lípidos, 94.07% y 96.11%; y los valores de energía digestible fueron de 4556 y 3510 kcal/kg, respectivamente. Los resultados indicaron que una tasa de inclusión del 15% de HSA en la dieta de juveniles de paco mejoró de manera estadísticamente significativa ($p < 0.05$) la ganancia de peso (GP), la ganancia de biomasa (GB), la tasa de crecimiento (TC) y la tasa de crecimiento específica (TCE) en comparación con las otras dietas. Por lo tanto, la HSA puede ser utilizada en una tasa de inclusión del 15% en las formulaciones de alimentos para juveniles de paco.

Palabras clave: Digestibilidad | performance | *Piaractus brachyomus* | harina de sangre avícola | harina de subproductos avícola

Forma de citar el artículo (Formato APA):

Pillaca, R., & Vergara, V. (2024). Valor nutritivo de harina de subproductos y harina de sangre avícolas en el desempeño productivo de juveniles de paco (*Piaractus brachyomus*). *Anales Científicos*. 85(2), 100-111. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v85i2.2106>

Autor de correspondencia (*): Roxana Pillaca Llamocca. Email: pillacall.roxana@gmail.com

© Los autores. Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY

1. INTRODUCCIÓN

El paco (*Piaractus brachyomus*) es una especie originaria de la Amazonía, con alta relevancia comercial en diversos países como Bolivia, Brasil, Venezuela, Colombia, Uruguay y Perú, donde es llamado también tambaqui, pitapitinga, morocoto, cachama blanca y pacú (Fishbase, 2024). Es una especie de importancia por sus atractivas características corporales para el mercado consumidor, con un hábito alimenticio omnívoro, esta especie se reproduce eficientemente en cautiverio y se adapta fácilmente al manejo, aceptando bien el alimento balanceado (Válquez-Torres, 2005). Además, el paco muestra una notable capacidad de adaptación a condiciones limnológicas desfavorables, tolerando bajos niveles de oxígeno disuelto y elevadas temperaturas. Estas adaptaciones facilitan su rápido y uniforme crecimiento, así como su resistencia a enfermedades, convirtiéndolo en una especie ideal para la acuicultura (Chagas et al. 2005; Ribeiro et al. 2016; Zarpellon, 2015).

En América Latina y El Caribe, según la FAO (2018). La producción de paco en el 2015 fue de 24 784 toneladas, registrándose una tasa de crecimiento en su

cultivo del 20% en el período 2013-2015. En el Perú, PRODUCE (2023) reportó que en el 2022 la producción de paco alcanzó 3 104 toneladas métricas, representando el 5.6% del total de especies procedentes de la actividad acuícola, seguido de la tilapia (4.6%) y la gamitana (1.5%). Sin embargo, uno de los mayores retos a los que se enfrenta la actividad acuícola es la dependencia de la harina de pescado para la producción de alimento balanceado, cuyo aumento en la demanda genera mayores costos (FAO, 2012a). Relacionado a lo anterior, la innovación en técnicas de procesamiento ha permitido la producción y desarrollo de nuevos ingredientes que cumplan con los requerimientos y criterios de calidad para la nutrición de organismos acuícolas (Bureau, 1996; Mendoza et al., 2000). Entre estos ingredientes, los subproductos de animales procesados, como la harina de sangre y la harina de subproductos avícolas, se consideran fuentes proteicas potenciales con alta biodisponibilidad de aminoácidos esenciales, buena energía digestible, ácidos grasos y minerales. Además, mejoran la palatabilidad y ofrecen una relación calidad – precio adecuada como alternativas de la harina de pescado, favoreciendo la sostenibilidad de los recursos (Amm & Aa 2015; Macavilca et al., 2020; Wu et al., 2021). Estos

subproductos han sido empleados de manera efectiva en la nutrición de especies como la tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) (El-Sayed, 1998; Amm & Aa, 2015), el bagre africano (*Clarias gariepinus*) (Abdel-Warith et al., 2001) y el paco (*Piaractus brachypomus*) (Piñeros-Roldan et al., 2014).

Por otro lado, la digestibilidad constituye una excelente medida de calidad para cuantificar el valor nutricional de los insumos utilizados en la alimentación acuícola. No basta con que los elementos nutricionales se encuentren en altos porcentajes en el alimento o en los insumos, estos deben ser digeribles para que puedan ser asimilados (INPA, 1996; Hephher, 1993). Los coeficientes de digestibilidad proveen información acerca del nutriente o fracción de energía ingerida con los piensos que no son excretadas en las heces, pero que son usados en el metabolismo del animal (NRC, 2011). Es decir, una dieta deficiente o con un exceso de energía digestible (ED) puede reducir los índices de crecimiento en los peces. Una dieta deficiente en energía con relación a la proteína implicará que la proteína es usada como energía para satisfacer el mantenimiento en lugar de ser destinado para el crecimiento. En contraste, una dieta que contiene exceso de energía puede reducir el consumo de alimento y, por ende, la ingesta de la cantidad necesaria de proteína y otros nutrientes esenciales para un máximo crecimiento (NRC, 2011; FAO, 2012). Adicionalmente, esta información puede ser útil para reducir la excreción de nutrientes al ambiente, contribuyendo a una actividad sostenible y proporcionando las bases para nuevos estudios sobre las necesidades nutricionales en organismos acuícolas (Halver & Hardy, 2002; Buzollo et al., 2018).

El presente trabajo tuvo como objetivos determinar el valor nutritivo de la harina de subproductos y harina de sangre avícolas en juveniles de paco (*P. brachypomus*); evaluando la digestibilidad y energía digestible de los nutrientes; así como, estudiar el efecto de dichas harinas en el desempeño productivo del paco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS:

Lugar y periodo de experimentación

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) que pertenece al Departamento Académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de

la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), entre los meses de febrero a junio del 2018.

La elaboración de las dietas se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados de la de la Facultad de Zootecnia de la UNALM.

Los análisis proximales de las dietas experimentales y las heces se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) – UNALM, empleando el método AOAC (2005) y la energía total fue calculada mediante bomba calorimétrica de oxígeno. Mientras que, la concentración de óxido crómico de las dietas y heces de cada unidad experimental se determinó mediante el análisis químico de cromo empleando el método interno (P-LQ-11 AA/N2O ACET) en el laboratorio World Survey Services S.A.

Unidades experimentales

Los peces fueron adquiridos como alevines del fundo Palmeiras de la empresa Silver Corporation S.A.C ubicado en la provincia de Satipo departamento de Junín. El ensayo fue llevado a cabo en un sistema de recirculación (SRA) conformado por una batería de 24 acuarios de fibra de vidrio de 55 L. Estos acuarios estuvieron conectados a filtros mecánicos y un filtro biológico para asegurar la calidad del agua. El sistema incluyó un blower de 1/3 HP para la oxigenación, una bomba de calor de 2 HP para el control de la temperatura del agua y una bomba electromagnética de 3400RPM para mantener la recirculación constante del agua.

Para la prueba de digestibilidad se emplearon 18 juveniles de paco con un peso promedio de 336 ± 0.62 g, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en nueve acuarios diseñados para la colección de heces según el sistema Guelph con un grado de inclinación de 13° en la base. El suministro de alimento fue *ad libitum*; de manera que, todo lo entregado fuera consumido hasta alcanzar el punto de saciedad. A las 8:00 am del día siguiente, las heces sedimentadas fueron cuidadosamente extraídas del sistema y llevadas a secar en la estufa a 65°C por seis horas, para reducir la humedad; posteriormente fueron congeladas y almacenadas.

Asimismo, para las pruebas de desempeño productivo se utilizaron 30 peces con un peso promedio de 362 ± 5.72 g, los cuales fueron distribuidos al azar en 15 acuarios de fondo plano. El alimento fue entregado hasta alcanzar el

punto de saciedad durante 42 días y los registros biométricos de peso húmedo y longitud total, fueron realizados cada dos semanas.

Tabla 1: Formulación de la dieta referencial para la prueba de digestibilidad.

Table 1: Formulation of the reference diet for the digestibility trial.

Ingredientes (%)	Dieta referencial
Maíz	34.00
Harina de pescado prime, 66	20.00
Torta de soya, 47	24.15
Harinilla de trigo	15.16
Aceite de soya	5.93
Premezcla acuicultura	0.5
Ligante	0.08
Antioxidante	0.03
Inhibidor de hongos	0.15

Calidad de agua

Los parámetros de calidad del agua se midieron semanalmente utilizando un termómetro digital ± 0.01 °C (Sper Scientific), un oxímetro (PinPoint II American Marine Inc.) y un pHmetro (Oakton), mientras que las mediciones de nitrógeno amoniacal, nitrito y dureza

(mg/L) fueron evaluados usando kits comerciales colorimétricos (La Motte y Sera).

Dietas Experimentales

Prueba de digestibilidad: La dieta referencial para la prueba de digestibilidad se obtuvo utilizando formulación al mínimo costo por programación lineal (Tabla 1), cubriendo así el requerimiento nutricional de los pacos, se tomó como referencia el requerimiento nutricional descrito en Briones (2019). Para cada ingrediente investigado, harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre avícola (HS), se preparó una dieta conformada por un 69.5% de la dieta referencial, 30% del ingrediente en evaluación y 0.5% de óxido de cromo como marcador inerte.

Prueba de performance: Se formularon cinco dietas experimentales isoprotéicas utilizando programación lineal al mínimo costo, con diferentes niveles de inclusión de los subproductos avícolas (HSA y HS) en reemplazo de la harina de pescado: 0% (dieta control, T1), 5% inclusión de HSA (T2), 15% inclusión HSA (T3), 5% de inclusión de HS (T4) y 15% inclusión de HS (T5), como se detalla en la Tabla 2. Posteriormente, los ingredientes se sometieron a un análisis proximal a fin de corroborar los niveles nutricionales (Tabla 3).

Tabla 2: Fórmulas de las dietas experimentales para la prueba de crecimiento.

Table 2: Formulations of the experimental diets for the growth trial.

Ingredientes (%)	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Torta de soya, 47	34	35	32	35	35
Maíz	16	20	26	25	25
Harinilla de trigo	27.87	24.18	19.05	17.84	17.06
Harina de pescado prime, 65	15	9	0	10	0
Harina subproducto avícola	0	0	0	5	15
Harina de sangre avícola	0	5	15	0	0
Aceite	4	4	4	4	4
Fosfato dicálcico	0.85	0.68	1.8	0.9	2
Ligante	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Sal	0.5	0.38	0.65	0.38	0.5
Carbonato de calcio	0.4	0.4	0	0.56	0
Premix acuicultura	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Cl.colina. 60	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
DL-metionina	0.18	0.16	0.3	0.12	0.18
l-lisina	0	0	0	0	0.06

Inhibidor de hongos	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	100	100	100	100	100
Valor Nutritivo (%)					
Materia seca	89.98	89.99	90	89.98	89.97
Proteína	32.32	32.35	32.37	32.3	32.48
Fibra	3.76	3.86	3.45	3.95	3.93
Grasa	7.49	7.25	7.15	7.42	7.5
Energía Digestible Mcal/kg	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
Lisina	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
Metionina	0.71	0.72	0.73	0.7	0.74
Cistina	0.48	0.48	0.49	0.47	0.49
Arginina	2.22	2.22	2.23	2.21	2.25
Treonina	1.28	1.27	1.28	1.26	1.29
Triptófano	0.41	0.42	0.43	0.4	0.44
Valina	1.69	1.67	1.69	1.66	1.69
Met-Cis	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
Ac. Gs. n-3	1.22	1.2	1.18	1.21	1.23
Ac. Gs. n-6	2.09	2.07	2.05	2.08	2.1
Fósforo total	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Calcio	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Sodio	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Tabla 3: Análisis químicos proximales de la harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre (HS) (base seca).

Table 3: Proximate chemical analysis of poultry by-product meal (PBM) and poultry blood meal (BM) (dried matter basis).

Contenido nutricional (%)	HSA	HS
Materia seca	90.66	90.07
Proteína cruda	71.44	82.36
Extracto etéreo	12.12	1.39
fibra	0.11	0
Ceniza	3.43	4.91
ELN	3.56	1.41
Energía (kcal/kg)	5268.7	4866.7

Para la elaboración de las dietas, los ingredientes tanto menores como mayores, fueron pesados y mezclados durante cinco minutos utilizando una mezcladora horizontal de cintas. Posteriormente, la mezcla fue procesada en la pelletizadora Bühler para obtener pellets de 3.5 mm de diámetro.

Evaluación nutricional de las dietas

- Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)

Las estimaciones del CDA se determinaron sobre la base de la cantidad de heces colectadas en cada uno de los

tratamientos. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes (Cho et al., 1982):

$$CDAd = 100 - 100 \left(\frac{\%Cr_2O_3 d}{\%Cr_2O_3 h} * \frac{\%Nh}{\%Nd} \right)$$

Donde:

CDAd = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta.

% Cr2O3d = Porcentaje del óxido de cromo en la dieta.

% Cr2O3h = Porcentaje del óxido de cromo en las heces.

%Nh = Porcentaje de un nutriente (%MS) o energía bruta (Kcal/kg) en las heces.

%Nd = Porcentaje de un nutriente (%MS) o energía bruta (Kcal/kg) en la dieta

La fórmula para la determinación del CDA de cada nutriente o de la energía bruta de un ingrediente evaluado fue el siguiente (Pezzato et al., 2002).

$$CDAing = \frac{(CDAdp - b * CDAdr)}{a}$$

Donde:

CDAing = Coeficiente de digestibilidad de la energía bruta o de un nutriente del ingrediente evaluado.

CDAdp = Coeficiente de digestibilidad de la energía bruta o de un nutriente en la dieta prueba.

CDAdr = Coeficiente de digestibilidad de la energía bruta o de un nutriente en la dieta referencial.

a = Porcentaje del ingrediente evaluado.

b = Porcentaje de la dieta referencial

Prueba de performance

Para determinar el efecto de la inclusión de subproductos avícolas fueron medidos los siguientes parámetros basados en las fórmulas mencionadas por Silva et al. (2007). Abimorad & Carneiro (2007), Abdel-Tawwad & Ahmad (2009):

- Ganancia de peso (g) = $Wf - Wi$

- Ganancia de biomasa (g) = $Biomasa\ final - Biomasa\ inicial$

Donde: Biomasa (g) = $N^\circ\ de\ individuos\ x\ peso\ promedio$

- Tasa de crecimiento (g/d) = $(Wf - Wi) / (t2 - t1)$

- Tasa de crecimiento específico (%/día) = $(Ln(Wf) - Ln(Wi)) / (t2 - t1) \times 100$

Donde: Wi = peso inicial (g); Wf = peso final (g); $t2 - t1$ = duración entre Wf y Wi

- Tasa de conversión alimenticia (FCR) = $alimento\ consumido / ganancia\ de\ peso$

- Tasa de eficiencia alimenticia (%FER) = $(Wf - Wi) \times 100 / alimento\ ingerido$

- Tasa de eficiencia protéica = $(Wf - Wi) / proteina\ del\ alimento$

Donde: proteína en el alimento = $(\% proteina\ en\ dieta \times total\ dieta\ consumida) / 100$

Diseño Estadístico

Para el ensayo de digestibilidad se utilizó una estadística descriptiva, empleando como indicadores los promedios, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Mientras que para la prueba de desempeño productivo se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos (niveles de inclusión) y tres repeticiones para cada uno. Las medias de los parámetros productivos fueron evaluadas por medio de un ANVA. Para el análisis estadístico se utilizó el software Minitab 17.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Parámetros físico-químicos

Los valores promedio obtenidos durante todo el experimento fueron: 26.5 ± 0.32 °C para la temperatura del acuario, 9.21 ± 0.13 mg/L de oxígeno disuelto, 7.1 ± 0.10 de pH, nitrógeno amoniacal $< 0.22 \pm 0.01$ ppm, nitritos 0.35 ± 0.05 mg/L y 50 ± 23.43 mg/L de dureza; los cuales concuerdan con los rangos registrados por Poleo et al. (2011), quienes evaluaron la tolerancia de alevines de

paco (*P. brachypomus*) en cultivos de altas densidades en sistemas de recirculación cerrados.

Coefficiente de digestibilidad aparente de la harina de subproducto avícola (HSA) y de la harina de sangre avícola (HS)

La Tabla 4 presenta los valores de los análisis químicos realizados a las dietas y las heces, incluyendo la estimación del óxido crómico utilizado como indicador. Con estos datos, se determinaron los coeficientes de digestibilidad, cuyos valores se detallan en la Tabla 5.

Los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca (CDAMs) resultaron ser $71.46 \pm 6.67\%$ y $61.52 \pm 0.61\%$ para la harina de subproducto y harina de sangre avícola respectivamente. En el caso de la proteína (CDAp), los valores alcanzaron $85.39 \pm 5.58\%$ y $70.00 \pm 4.75\%$, en el mismo orden. Para el extracto etéreo (CDAee), los coeficientes obtenidos fueron $94.07 \pm 3.06\%$ y $96.11 \pm 2.55\%$. Finalmente, los coeficientes de digestibilidad aparente de la energía bruta (CDA EB) y los valores de energía digestible (ED) fueron de $78.40 \pm 5.28\%$ y 4556.32 kcal/kg para la harina de subproducto, mientras que para la harina de sangre fueron de $64.96 \pm 2.27\%$ y 3509.80 kcal/kg, respectivamente.

Tabla 4: Análisis químico proximal y estimación del óxido crómico de las dietas y heces (base seca).

Table 4: Proximate chemical analysis and chromium oxide estimation of diets and feces (dried matter basis).

ALIMENTO	Dieta		Dieta HS
	Referencial	HSA	
MS (%)	91.53	91.35	91.44
PC (%)	31.35	46.16	47.18
EE (%)	10.28	9.92	7.47
E (Mcal/kg)	4472.5	4685.1	4573.7
Oxido crómico	0.51	0.49	0.46
HECES			
MS (%)	88.58	89.15	88.98
PC (%)	10.32	17.55	22.96
EE (%)	1.37	1.53	0.89
E (Mcal/kg)	3731.40	3790.30	3911.63
Oxido crómico	1.77	1.70	1.44

MS: Materia Seca; PC: Proteína Cruda; EE: Extracto Etéreo; E: Energía

Tabla 5: Contenido nutricional y coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la harina de

subproducto avícola (HSA) y harina de sangre avícola (HS) (base seca)

Table 5: Nutritional content and apparent digestibility coefficients (ADC) of poultry by-product meal (PBM) and poultry blood meal (BM) (dry matter basis).

	HSA	HS
MS (%)	100	100
PC(%)	78.8	91.44
EE(%)	13.37	1.54
E(Kcal/Kg)	5812	5403
CDA MS (%)	71.46± 6.67	61.52± 0.61
CDA PC (%)	85.39± 5.58	70.00± 4.75
CDA EE (%)	94.07± 3.06	96.11± 2.55
CDA E (%)	78.40± 5.28	64.96± 2.27
ED (Kcal/Kg)	4556	3510

MS: Materia Seca; PC: Proteína Cruda; EE: Extracto Etéreo; E: Energía; CDA: Coeficiente de Digestibilidad Aparente. Los valores de CDA presentados en la tabla corresponden a la media ± desviación estándar (n = 18).

Respecto al CDAMs de HSA, es similar a lo reportado por Pezzato et al. (2002) quienes obtuvieron un CDAMs de $73.87 \pm 0.10\%$ para especies omnívoras como la tilapia del Nilo (*O. niloticus*). Mientras que el valor del CDAMs de la HS obtenido fue menor al observado en el trabajo de Vásquez-Torres et al. (2013) realizado en paco (*P. brachypomus*) con un valor de CDAMs de $78.6 \pm 3.7\%$, mientras que Pezzato et al. (2002) reportaron valores menores de CDAMs $53.30 \pm 0.13\%$ en tilapia del Nilo. Las diferencias en los valores de CDAMs podrían estar influenciados por la tecnología utilizada en la elaboración de las harinas las cuales pueden determinar la composición de los productos finales. En relación al CDAP para HSA obtenido es similar a los reportados por Abiimorad y Carneiro (2004) quienes indican un CDAP de $83.40 \pm 5.21\%$ para el pacú blanco (*P. mesopotamicus*); y Buzollo et al. (2018) quienes obtuvieron un CDAP de $86.02 \pm 0.52\%$ para la gamitana (*Colossoma macropomum*). En trabajos con la tilapia del Nilo Pezzato et al. (2002) y Guimarães et al. (2008) reportaron valores muy cercanos a los obtenidos en este trabajo, 87.24 ± 0.32 y 89.97% , respectivamente. En

cuanto al CDAP de la HS fue ligeramente menor al reportado por Vásquez-Torres et al. (2013) quienes señalaron valores de CDAP de $77.8 \pm 3.9\%$ en paco (*P. brachypomus*), mientras que Abiimorad y Carneiro (2004), y Pezzato et al. (2002) determinaron un CDAP de 57.72 ± 7.14 y $50.69 \pm 0.27\%$ para pacú blanco y para la tilapia del Nilo, respectivamente. Cabe mencionar que la digestibilidad de ingredientes de origen animal se ve afectado por diferencias en la calidad de la materia prima respecto a su composición, procedencia de los animales y sobre todo por el proceso al cual es sometido para obtener la harina; los tratamientos térmicos como la cocción o el secado pueden causar desnaturalización en las proteínas y aminoácidos, los cuales afectan el valor nutritivo de los ingredientes (Bureau et al., 1999; NRC, 2011; Vásquez-Torres et al., 2013).

Con respecto al CDAee de la HSA obtenido es similar con los reportados por Pezzato et al. (2002) y Buzollo et al. (2018) quienes encontraron valores de CDAee de 95.10 ± 0.30 y $96.60 \pm 3.07\%$ para la tilapia del Nilo y la gamitana, respectivamente. En relación al valor de CDAee de la HS, este fue mayor al reportado por Pezzato et al. (2002). quienes obtuvieron un CDAee de $89.36 \pm 0.16\%$ en la tilapia del Nilo. En relación con lo mencionado previamente, podemos señalar que la digestibilidad del extracto etéreo está relacionada con la composición de los ingredientes, Sklan et al. (2004) mencionan que el CDAee se incrementa conforme se incrementa el contenido de proteína en la dieta. Finalmente, en cuanto al valor de energía digestible de la HSA, fue mayor al reportado por Abiimorad & Carneiro (2004) para el pacú blanco con una ED de 3141.87 kcal/kg. Con relación al valor de la ED de la HS, este fue menor a los reportados por Vásquez-Torres et al. (2013) para el paco con ED de 4146.8 kcal/kg; mientras que Abiimorad & Carneiro (2004) reportaron una ED de 3257.08 kcal/kg para el pacú blanco. El valor de la energía digestible representa la sumatoria de los CDA de los nutrientes (NRC, 2011). Por lo tanto, podemos mencionar que los subproductos avícolas presentan valores óptimos para ser considerados como ingredientes en la alimentación de juveniles del paco.

Determinación del efecto de la inclusión de los subproductos sobre el desempeño productivo de juveniles del paco

La Tabla 6 presenta los valores de los parámetros de producción para los cinco tratamientos obtenidos al final del experimento. Respecto a la ganancia de peso (GP) se puede apreciar que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con mayor porcentaje de inclusión de subproductos durante la fase experimental de 42 días, siendo el T3 (15% HSA) el que presentó mayor promedio con 155.51 g comparado con T5 (15%HS) el cual registró el menor desempeño con 77.98 g. Asimismo, no se presentaron diferencias significativas entre T1 (control), T2 (5%HSA) y T4 (5%HS). En relación a la ganancia de biomasa (GB), no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre T1 (control), T2 (5%HSA) y T4 (5%HS). Sin embargo, se presentaron diferencias significativas con respecto a T5 (15%HS) y T3 (15%HSA) siendo los tratamientos de menor y mayor respuesta con 155.95 g y 311.02 g, respectivamente.

En cuanto a la tasa de crecimiento (TC) y tasa de crecimiento específico (TCE), no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de T1 (control), T2 (5%HSA) y T4 (5%HS). Mientras que, si se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos que contenían una mayor inclusión de los ingredientes para ambos parámetros (TC y TCE), T3 (15%HSA) y T5 (15% HS). El tratamiento T5 reportó promedios menores para la tasa de crecimiento con 1.86 g/día y 0.47%/día para la tasa de crecimiento específico; por otro lado, T3 mostró los mejores promedios con 3.70 g/día y 0.83%/día para los mismos parámetros, respectivamente. Con respecto a la tasa de conversión alimenticia (TCA), tasa de eficiencia alimenticia (TEA) y a la tasa de eficiencia proteica (TEP) no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las medias de los cinco tratamientos.

Tabla 6: Efecto de la harina de subproducto avícola (HSA) y harina de sangre (HS) en el comportamiento productivo de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*)
Table 6: Effect of poultry by-product meal (PBM) and poultry blood meal (BM) on the productive performance of juvenile paco (*Piaractus brachypomus*)

GP: Ganancia de peso; GB: Ganancia de biomasa; TC: Tasa de crecimiento; TCE: Tasa de crecimiento específico; TCA: Tasa de conversión alimenticia; TEA: Tasa de eficiencia alimenticia; TEP: Tasa de eficiencia proteica. Medias seguidas por letras diferentes en las filas

indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Con relación a los valores de ganancia de peso (GP) reportados para la HSA, estos son menores que los encontrados por El-Sayed (1998), quien reportó 235.5 g para GP de alevines de tilapia del Nilo alimentadas con dietas que incluían HSA durante 150 días. Asimismo, en trabajos realizados por Hernández et al. (2010) en alevines de tilapia del Nilo y Abdel-Warith et al. (2001) en bagre (*Clarias gariepinus*) se observó una respuesta positiva en cuanto a GP al incluir harina de subproducto avícola en las dietas. Estas diferencias podrían estar relacionadas con las características propias de cada especie, incluyendo variaciones en la fisiología del tracto digestivo, el tamaño y tipo de estómago, el tiempo de tránsito gastrointestinal, así como la eficiencia enzimática y el perfil enzimático, entre otros factores. Estos aspectos determinan la eficacia con la que un alimento es ingerido y asimilado (Morales & De Almeida. 2014).

En estudios de fisiología realizados por Moawad et al. (2017) y Mendoza et al. (2013) mencionan que el bagre (*C. gariepinus*) y el paco presentan un estómago tipo “J” lo que les permitiría extender la duración de la comida en el estómago asegurándose un mayor grado de digestión; mientras que Caceci et al. (1997) reportan que la tilapia del Nilo presenta uno en forma de “Y”, el cual permite una retención mucho mayor de ciertos alimentos. En cuanto a la HS, los valores de GP reportados en este trabajo fueron menores al obtenido por El-Sayed (1998), quien señala un valor de GP de 187.5 g para tilapia del Nilo alimentadas con dietas en las cuales la harina de pescado fue reemplazada en su totalidad por harina de sangre. Por otra parte, se debe considerar que las fuentes proteicas de los insumos representan otro factor que puede influir sobre la GP, así lo demuestran los trabajos en harina de sangre bovina de Martins & Guzmán (1994) y Montoya-Mejía et al. (2017) realizados en juveniles de gamitana y tilapia del Nilo, cuyos valores fueron menores a los reportados en este trabajo.

Con respecto a los valores de TC y TCE para la HSA reportados, estos son menores a los encontrados por Piñeiros-Roldan et al. (2014) en juveniles de paco, El-Sayed (1998) y Hernández et al. (2010) en alevines de tilapia del Nilo, y Abdel-Warith et al. (2001) para juveniles de bagre. En cuanto a los valores de TC y TCE de la HS, estos fueron menores a los reportados por El-

Sayed (1998) en alevines tilapia del Nilo; y a los trabajos de Martins & Guzmán (1994) y Montoya-Mejía et al. (2017) quienes trabajaron con harina de sangre bovina en juveniles de gamitana y tilapia del Nilo, respectivamente. Estas variaciones en las tasas de crecimiento pueden estar explicadas por la edad del pez, la cual influencia de significativamente la velocidad de crecimiento, ya que la tasa de crecimiento específico disminuye de forma exponencial en función del tiempo (Mambrini & Guillaume. 2004). Por su parte, Shapawi et al. (2007) mencionan que la variabilidad en el desempeño productivo puede estar influenciado principalmente por factores como la especie y la variabilidad en la calidad de los ingredientes, los cuales se ven significativamente influenciados por el método de procesamiento empleado para su elaboración. Por otro lado, los resultados obtenidos en la prueba de digestibilidad se ven reflejados en las tasas de crecimiento. correspondiéndole a un mayor coeficiente de digestibilidad una mejor tasa de crecimiento.

En lo referente a los valores de TCA, estos podrían estar relacionados con el grado de palatabilidad de las harinas. Piñeros-Roldan et al. (2014) indicaron que la palatabilidad de la harina de subproducto avícola en juveniles de paco (*P. brachypomus*) puede ser similar o incluso superior a la de la harina de pescado, lo que incrementa el consumo del alimento. En cuanto a la harina de sangre, su palatabilidad es variable, ya que la tecnología empleada en su producción afecta tanto a su palatabilidad como la disponibilidad de sus aminoácidos (Ravindran & Blair 1993).

Por otro lado, las TEP reportadas tanto para la HSA y HS fueron mayores que los reportados por El-Sayed (1998) quien determinó un TEP de 1.55 y 1.30 para alevines de tilapia del Nilo, respectivamente para cada ingrediente. Los resultados se corresponden con los obtenidos en la prueba de digestibilidad donde la HSA presentó mejores coeficientes de digestibilidad en comparación con la HS; lo que indicaría que esta harina a pesar de ser una buena fuente de lisina posiblemente sea deficiente en otros aminoácidos esenciales, como lo señalan en sus trabajos El-sayed (1998), Guillaume et al. (2004), y Hardy & Barrows (2002). Por su parte, Halver & Hardy (2002) mencionan que la deficiencia de aminoácidos esenciales en la dieta de organismos acuícolas tiene efectos negativos sobre la utilización de las proteínas, reduciendo el crecimiento y la eficiencia alimenticia; siendo las

proteínas que poseen una mayor digestibilidad las que promueven una significativa deposición. Del mismo modo, Rollin et al. (2003) señalan que la calidad de las proteínas presentes en un ingrediente depende de la composición y disponibilidad de sus aminoácidos.

4. CONCLUSIÓN

La harina de subproducto avícola (HSA) presentó mejores valores de coeficientes de digestibilidad y energía digestible con respecto a la harina de sangre avícola (HS) para juveniles de paco (*P. brachypomus*). La inclusión del 15% de harina de subproducto avícola presentó un mejor desempeño en los parámetros productivos para juveniles de paco frente a los demás tratamientos presentando diferencias significativas en cuanto a ganancia de peso, ganancia de biomasa y tasa de crecimiento específico.

AGRADECIMIENTOS:

Al CONCYTEC-FONDECYT por el apoyo financiero y la colaboración en la investigación.

DECLARACIÓN DE ÉTICA ANIMAL

Este estudio fue realizado en conformidad con los estándares internacionalmente aceptados para el uso de animales en la investigación científica, siguiendo las directrices establecidas en el Código de Ética para la experimentación animal, disponible en http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm.

CONTRIBUCIONES DEL AUTOR

- (1) Roxana Pillaca Llamocca. Concepción y diseño del estudio, análisis e interpretación de datos.
- (2) Víctor Vergara Rubín. Adquisición de fondos y administración del proyecto.
- (3) Roxana Pillaca Llamocca, Víctor Vergara Rubín. Redacción del artículo y revisión crítica para contenido intelectual importante
- (4) Roxana Pillaca Llamocca, Víctor Vergara Rubín. Aprobación definitiva de la versión a presentar.

6. REFERENCIAS

- Abdel-Warith, A. A., Russell, P. M., & Davie, S. J. (2001). Inclusion of a commercial poultry by-product meal as a protein replacement of fish meal in practical diets for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture Research*, 32, 296-305. <https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00053.x>
- Abdel-Tawwab, M., & Amad, M. H. (2009). Effect of dietary protein regime during the growing period of growth performance, feed utilization and whole body chemical composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research*, 40 (13), 1532-1537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02254.x>
- Abiimorad. E. G., & Carneiro. D. J. (2004). Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração proteica e da energia de alimentos para pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holberg, 1887). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(5), 1101-1109. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000500001>
- Amm, Y., & Aa, M. (2015). Effects of fish meal substitution with poultry by-product meal on growth performance, nutrients utilization and blood contents of juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture Research & Development*, 07(01). <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000389>
- Briones, K. (2019). Digestibilidad de ingredientes proteicos y requerimiento de proteína para el pacu (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de alevinos. [Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en Nutrición]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 89 pp. Accesado 05/04/2019. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4056>
- Bureau, D. (1996). Nutritional value of rendered animal protein ingredients for salmonids in the 90'S. In: The Canadian Feed Industry Association and 1996 Eastern Nutrition Conference. May 15 – 17. Dartmouth. Nova Escotia. 239-246pp.
- Bureau, D. P., Harris, A. M., & Cho, C. Y. (1999). Aparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 180(3-4), 345-358. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00210-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00210-0)
- Buzollo, H., Nascimento, T. M. T. do, Sandre, L. C. G. de, Neira, L. M., Jomori, R. K., & Carneiro, D. J. (2018). Apparent digestibility coefficients of feedstuff used in tambaqui diets. *Boletim do Instituto de Pesca São Paulo*, 44(2), 547-555. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.316>
- Caceci, T., El-Habback, H. A., Smith, S. A., & Smith, B. J. (1997). The stomach of *Oreochromis niloticus* has three regions. *Journal of Fish Biology*, 50(5), 939–952. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb01620.x>
- Chagas, E. C., Gomes, L. de C., Martins Júnior, H., Roubach, R., & Lourenço, J. N. de P. (2005). Desempenho de tambaqui cultivado em tanques-rede, em lago de várzea, sob diferentes taxas de alimentação. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40(8), 833–835. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2005000800015>
- Cho. C. Y., Slinger. S. J., & Bayley. H. S. (1982). Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology. B, Comparative Biochemistry* 73(1), 25-41. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(82\)90198-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90198-5)
- El-sayed. A. F. M. (1998). Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) feed. *Aquaculture Research*, 29(4), 275-280. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1998.00199.x>
- Fishbase. (2024). *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). Froese. R., & D. Pauly. Editors. World Wide Web electronic publication. Recuperado de: https://www.fishbase.se/country/CountrySpeciesSummary.php?id=5808&c_code=076
- Guillaume, J. Kaushik, S., Bergot, P., & Métailier, R. (2004). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. Pp 475.
- Guimarães, I. G., Pezzato, L. E., & Barros, M. M. (2008). Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 14(5), 396–404. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00540.x>
- Halver, J., & Hardy, R. (2002). *Fish Nutrition*. (3rd Ed). Academic Press. New york. 824 pp.
- Hardy, R., & Barrows, F. (2002). Diet formulation and manufacture. In: Halver, J., Hardy, R (Eds). *Fish Nutrition*. (3rd Ed., 824 pp). Academic Press. New york.

- Hernández, C., Olvera-Novoa, M. A., Hardy, R. W., Hermosillo, A., Reyes, C., & González, B. (2010). Complete replacement of fish meal by porcine and poultry by-product meals in practical diets for fingerling Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: digestibility and growth performance. *Aquaculture Nutrition*, 16(1), 44–53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00639.x>
- Hopher, B. (1993). *Nutrición de Peces Comerciales en Estanques*. (Primera Ed). Ciudad de México. Editorial Limusa S.A. 406 pp.
- Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). (1996). *Fundamentos de nutrición y alimentación en acuicultura*. Eds. Soler, M., Rodríguez, H., & Victoria, P. Santa Fe de Bogotá. 341pp.
- Moawad, U. K., Awaad, A. S., & Tawfik, M. G. (2017). Histomorphological, histochemical, and ultrastructural studies on the stomach of the adult African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(3), 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.jmau.2016.08.002>
- Macavilca, Y., Vergara, V., & Valverde, N. (2020). Evaluación del concentrado proteico de subproducto de camal avícola utilizando tres programas de alimentación en pollos. *Agroindustrial Science*, 10(2), 129–135. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.02.02>
- Mambrini, M., & Guillaume, J. (2004). *Nutrición proteica*. In: Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Mètailler, R. *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. 475pp
- Martins, S. N., & Guzmán, E. C. (1994). Effect of drying method of bovine blood on the performance of growing diets for tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1818) in experimental culture tanks. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 124(1–4), 335–341. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90406-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90406-5)
- Mendoza, R., Aguilera, C., & Montemayor, J. (2000). Utilización de subproductos avícolas en las dietas para organismos acuáticos. In: Civeda-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C., Ricque-Marie, D., & Cruz-Suárez, L. (Eds.) *Avances en Nutrición Acuícola IV*. Memoria de IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18. 1998. La Paz. B.C.S. México. 398 – 439 pp.
- Mendoza, M., Comas, J., & Romero, H. (2013). Estudio Histológico del sistema digestivo en diferentes estadios de desarrollo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista de Medicina Veterinaria*. (25). 21-38. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542013000100003&lng=en&tlng=es
- Ministerio de Producción (PRODUCE). (2023). *Anuario estadístico pesquero y acuícola 2022* (En línea). Consultado enero 2024. Recuperado de: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oeo-documentos-publicaciones/publicaciones-anales/item/1116-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2022>
- Montoya-Mejía, M., García-Ulloa, M., Hernández-Llamas, A., Nolasco-Soria, H., & Rodríguez-González, H. (2017). Digestibility, growth, blood chemistry, and enzyme activity of juvenile *Oreochromis niloticus* fed isocaloric diets containing animal and plant byproducts. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12), 873–882. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017001200001>
- Morales, G., & De Almeida, L. (2014). Nutrição e aspectos funcionais da digestao de peixes. In: Baldisserotto, B., Possebon, J., Criscuolo, E. *Biología e fisiología de peixes neotropicais de água doce*. Jabotibacal: FUNEP; UNESP. Pag. 336.
- National Research Council (NRC). (2011). *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press. Washington. D.C. USA. 399pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2012). *Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo* Requerimiento energético Requerimiento energético de mantenimiento. Serie Acuicultura en Latinoamérica. Número 1. 200 pags. Recuperado de: <https://www.fao.org/4/i1773s/i1773s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012a). *Alimentar al sector de la acuicultura en crecimiento: Un análisis*. Comité de pesca. Subcomité de acuicultura. Sexta Reunión. Ciudad del Cabo – Sudáfrica 26 – 30 de marzo de 2012. Recuperado de: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/mc825s>.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Panorama de la Pesca Continental y la Acuicultura en América Latina Y El Caribe. Comisión de Pesca Continental y Acuicultura para América Latina y El Caribe. Décimo quinta reunión. Ciudad de Panamá. 22 - 24 de enero de 2018. Recuperado de: <https://www.fao.org/fishery/es/publications/75618>
- Pezzato, L. E., Miranda, E. C. de, Barros, M. M., Pinto, L. G. Q., Furuya, W. M., & Pezzato, A. C. (2002). Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(4), 1595–1604. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000700001>
- Piñeros-Roldan, A. J., Gutiérrez-Espinosa, M. C., & Castro-Guerrero, S. R. (2014). Sustitución total de la harina de pescado por subproductos avícolas suplementados con aminoácidos en dietas para juveniles de *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. *ORINOQUIA*, 18(2), 13-24. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092014000200002&lng=en&tlng=es
- Ravindran, V., & Blair, R. (1993). Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific. III. Animal protein sources. *World's Poultry Science Journal*, 49(3), 219–235. <https://doi.org/10.1079/wps19930020>
- Ribeiro, F. M., Freitas, P. V. D. X., Santos, E. O. dos, Sousa, R. M. de, Carvalho, T. A., Almeida, E. M. de, Santos, T. O. dos, & Costa, A. C. (2016). Alimentação e nutrição de Pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*): Revisão. *PubVet*, 10(12), 873–882. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n12.873-882>
- Rollin, X., Mambrini, M., Abboudi, T., Larondelle, Y., & Kaushik, S. J. (2003). The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry. *The British Journal of Nutrition*, 90(5), 865–876. <https://doi.org/10.1079/bjn2003973>
- Shapawi, R., Ng, W.-K., & Mustafa, S. (2007). Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 273(1), 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.014>
- Silva, C. R., Gomes, L. C., & Brandão, F. R. (2007). Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 264(1–4), 135–139. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.007>
- Sklan, D., Prag, T., & Lupatsch, I. (2004). Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). *Aquaculture Research*, 35(4), 358–364. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01021.x>
- Vålquez-Torres, W. (2005). A pirapitinga: Reprodução e cultivo. In: Baldisserotto, B., Gomes, L. Espécies nativas para piscicultura no Brasil. Santa Maria. Editora UFMS. 203 – 224 pp.
- Vásquez-Torres, W., Yossa, M. I., & Gutiérrez-Espinosa, M. C. (2013). Digestibilidade aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 48(8), 920–927. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2013000800016>
- Wu, G. (2021). Amino acids in nutrition and health: Amino acids in the nutrition of companion, zoo and farm animals. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1>
- Zarpellon, I. (2015). Taxa de alimentação para juvenis de pirapitinga criados em hapas. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Goiânia-Brasil. Universidade Federal de Goiás. 61 pp (En línea). Consultado Set. 2018. Recuperado de: https://ppgz.evz.ufg.br/up/442/o/2015014_Idayana_Zarpellon.pdf