

Crecimiento corporal, composición proximal del músculo y parámetros hematológicos de juveniles de *Colossoma macropomum* alimentados con una dieta exclusivamente vegetal en comparación con una dieta con bajo contenido de harina de pescado

Growth performance, proximal composition of muscle and haematological parameters of juveniles *Colossoma macropomum* fed with an all plant-based diet in comparison to a low-fishmeal diet

Brenda Carolina Grande Fernández¹, Carlos Andre Amaringo Cortegano^{1*}, César Augusto Villanueva Chávez¹, Ligia Uribe Gonçalves², Sandra Gracia Bezada Quintana³, Fernando Demetrio Carcelén Cáceres³, Sofía López Guerra³

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de una dieta vegetal en comparación con una dieta conteniendo harina de pescado al nivel comercial (6%) sobre el crecimiento corporal, composición proximal del músculo y parámetros hematológicos de juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*). El experimento siguió un diseño completamente al azar con dos tratamientos, una dieta exclusivamente vegetal y una dieta con bajo

¹ Estación IVITA-Pucallpa, Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ucayali, Perú

² Coordenação de Tecnologia e Inovação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil

³ Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

* E-mail: camaringoc@unmsm.edu.pe

Financiamiento: Los autores reconocen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) a través de su unidad ejecutora el PROCENCIA para su trabajo de investigación (Proyecto 145-2020-Fondecyt).

Recibido: 29 de agosto de 2022

Aceptado para publicación: 16 de marzo de 2023

Publicado: 28 de abril de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

contenido de harina de pescado (6%), y tres estanques de tierra excavados de 200 m³ como unidades experimentales por tratamiento. Se trabajó con 1200 peces (172.9 g; 19.4 cm) distribuidos en los seis estanques (1 pez/m³). La alimentación se hizo dos veces al día (08:00 y 16:00) a una tasa de alimentación diaria de 2% durante 60 días. Los parámetros de calidad de agua fueron monitoreados diariamente y mostraron valores constantes y dentro del rango de confort de la especie. La dieta exclusivamente vegetal causó similar efecto que la dieta con harina de pescado sobre el crecimiento corporal [peso final 258.9 g, ganancia de peso 86.1 g, alimento ofrecido 128.4 g, conversión alimenticia 1.24, tasa de crecimiento relativo 1.74%/día, factor de condición 1.91, 0% de mortalidad], la composición proximal del músculo [humedad 77.90%, cenizas 1.39%, proteínas 18.98%, lípidos 0.86%], así como en los parámetros hematológicos. Se concluye que una dieta exclusivamente vegetal puede ser utilizada para la crianza de juveniles de gamitana contribuyendo a la sostenibilidad de su producción y reducción de costos por alimentación.

Palabras clave: gamitana, harina de pescado, ingrediente vegetal, pez neotropical, pez omnívoro

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of a vegetable diet compared to a diet containing fishmeal at the commercial level (6%) on body growth, proximal composition of fillets and haematological parameters of juvenile gamitana (*Colossoma macropomum*). The experiment followed a completely randomized design with two treatments, an exclusively vegetable diet and a diet with low fishmeal content (6%), and three 200 m³ dug earthen ponds as experimental units per treatment. A total of 1200 fish (172.9 g; 19.4 cm) distributed in the six ponds (1 fish/m³) were used. Feeding was done twice a day (08:00 and 16:00) at a daily feeding rate of 2% for 60 days. The water quality parameters were monitored daily and showed constant values and within the comfort range of the species. The exclusively vegetable diet had a similar effect as the fishmeal diet on body growth [final weight 258.9 g, weight gain 86.1 g, supplied feed 128.4 g, feed conversion 1.24, relative growth rate 1.74%/day, factor of condition 1.91, 0% mortality], the proximal composition of fillets [moisture 77.90%, ash 1.39%, protein 18.98%, lipid 0.86%], as well as in the hematological parameters. It is concluded that an exclusively vegetable diet can be used for the rearing of juvenile gamitana, contributing to the sustainability of its production and reduction of feeding costs.

Key words: gamitana, fishmeal, vegetable ingredient, neotropical fish; omnivorous fish

INTRODUCCIÓN

Colossoma macropomum (Cuvier, 1816), conocido como «gamitana» en el Perú o «tambaqui» en el Brasil, es el segundo pez de escama más grande en la Amazonia, consiguiendo tallas de hasta 1 m de longitud y pesando hasta 30 kg en el ambiente natural (Goulding y Carvalho, 1982). En estanques

de tierra, la gamitana puede alcanzar hasta 1 kg en 5 meses a partir de juveniles de 164 g (Hilsdorf *et al.*, 2022). Presenta adaptación a dietas comerciales, reproducción dominada en laboratorio y resistencia al manejo y a condiciones adversas (Goulding y Carvalho, 1982), como bajas concentraciones de oxígeno disuelto y pH ácido en el agua (Saint-Paul 1984; Wood *et al.*, 1998). Por su condición de omnivoría y la plasticidad de sus

enzimas digestivas se usan dietas con 75-85% de proteínas vegetales en su crianza; sin embargo, se requiere de mayores estudios para optimizar las dietas y reducir los costos de producción (Corrêa *et al.*, 2007; Hilsdorf *et al.*, 2022), buscando utilizar dietas exclusivamente vegetales como alternativa. Las fábricas de alimentos balanceados en el Perú continúan utilizando harina de pescado en dietas para gamitana en la fase de engorde, entre el 6 al 8%, como fuente de aminoácidos esenciales y ácidos grasos altamente insaturados.

El reemplazo de harina de pescado por ingredientes de origen vegetal, en la alimentación de animales acuáticos es necesario ante el incremento del precio e inestabilidad de la harina de pescado en el mercado (Fontainhas-Fernandes *et al.*, 1999; Hardy, 2010). Reemplazos parciales de harina de pescado por proteína vegetal han sido reportados con éxito en algunos peces teleósteos (Hardy, 2010), pero escasos estudios se han realizado con dietas utilizando solo vegetales (Barrows *et al.*, 2008; Hardy, 2010; Reverter *et al.*, 2020), especialmente en peces omnívoros.

Ingredientes vegetales son una alternativa promisoriosa que podrían contribuir a la sostenibilidad de la acuicultura. Bajo costo, disponibilidad, fácil transporte y almacenamiento, adecuado perfil de proteínas, son condiciones que favorecen el proceso de extrusión de las dietas acuícolas (Hardy, 2010). Estas dietas han sido utilizadas con éxito en peces como «pacu brasileño» (*Piaractus mesopotamicus*) (Gonçalves *et al.*, 2021) y la «tilapia de Mozambique» (*Oreochromis mossambicus*) (Jackson *et al.*, 1982). Entre sus desventajas está su deficiencia en algunos aminoácidos esenciales para los peces, principalmente lisina y metionina; sin embargo, aminoácidos sintéticos en pequeñas cantidades pueden adicionarse en la formulación dietética sin afectar los costos de alimentación (Barrows *et al.*, 2008). Por otro lado, los ingredientes vegetales pueden contener componentes antinutricionales o ser sustrato para el crecimiento de hongos afectando el crecimiento de los peces y la calidad

del pescado. Entre las alternativas para el control de crecimiento de hongos se han propuesto la incorporación de inhibidores de hongos, mientras que los componentes antinutricionales son inactivados durante la extrusión (Barrows *et al.*, 2008).

El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento corporal, composición proximal del músculo y parámetros hematológicos de juveniles de gamitana alimentados con una dieta vegetal en comparación con una dieta con bajo contenido de harina de pescado en referencia al 6% usado de manera comercial en la fase de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dietas Experimentales

Dos dietas isoproteicas (359 g kg⁻¹ de proteína cruda) e isoenergéticas (4371.45 kcal EB kg⁻¹) fueron formuladas y preparadas siguiendo las recomendaciones sobre la preparación de dietas balanceadas para gamitana (Guimarães y Martins, 2015): una dieta exclusivamente vegetal y una dieta conteniendo 6% de harina de pescado de acuerdo al nivel utilizado en dietas comerciales de engorde para esta especie en el Perú (Cuadro 1).

Los ingredientes fueron pulverizados y homogenizados en una mezcladora de 500 kg de capacidad durante 10 minutos, extruidas a 6 mm de diámetro de pellet (Light M&E, modelo ft95 800/1000 kg/h) y secadas en horno a gas en torno a 60 °C durante 24 h. Ambas dietas fueron almacenadas en sacos con aislante de luminocidad para evitar fotooxidación de nutrientes.

Muestras

El experimento se desarrolló en la Unidad de Producción de Peces Migratorios de la Estación Pucallpa del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) de la Facultad de Medicina Veterinaria (FMV), Universidad Nacional Mayor

Cuadro 1. Formulación y composición proximal de las dietas experimentales para gamitana (*Colossoma macropomum*)

| | Vegetal | Con harina de pescado |
|---|----------|-----------------------|
| Ingredientes (g/kg) | | |
| Harina de pescado | - | 60.00 |
| Torta de soya | 533.00 | 437.00 |
| Harina de trigo | 59.00 | 59.00 |
| Maíz | 360.00 | 400.00 |
| Aceite de soya | 24.00 | 24.00 |
| L-lisina | 2.00 | - |
| DL-metionina | 2.00 | - |
| Prémix ¹ | 20.00 | 20.00 |
| Composición proximal (% en base a la materia seca) ² | | |
| Materia seca | 971.10 | 963.70 |
| Proteína bruta | 364.00 | 354.00 |
| Extracto etéreo | 9.00 | 10.00 |
| Fibra cruda | 13.20 | 16.90 |
| ENN ³ | 546.90 | 551.40 |
| Cenizas | 66.90 | 67.70 |
| Energía bruta (kcal/kg) ⁴ | 4,385.68 | 4,357.21 |
| USA\$ / kg de alimento ⁵ | 0.62 | 0.67 |

¹ Premezcla de vitaminas y minerales (DSM Acuacultura) – DSM es una premezcla de vitaminas Rovimix®, minerales Microgran®, BHT y BHA (antioxidantes) para uso animal, elaborado por DSM Nutritional Products Perú, contiene por producto de 20 kg: vitamina A 9 334 000 UI; vitamina D3 1 866 800 UI; vitamina E 93 333 UI; vitamina K3 5.33 g; tiamina (B1) 12.0 g; riboflavina (B2) 13.32 g; piridoxina (B6) 10.0 g; vitamina B12 0.02 g; ácido ascórbico 210.0 g; niacina 100.0 g; ácido pantoténico 33.32 g; ácido fólico 2.67 g; biotina 0.53 g; cobre 1.00 g; hierro 13.33 g; manganeso 26.66 g; cobalto 0.10 g; yodo 1.00 g; zinc 13.33 g; selenio 0.20 g; antioxidantes 26.60 g; excipientes c.s.p. 2 000 g

² Promedios de análisis de muestras por duplicado son mostrados

³ ENN = extracto no nitrogenado = 100-(proteína bruta + extracto etéreo + fibra cruda + cenizas) (NRC, 2011)

⁴ Energía bruta basada en los valores calculados para proteína, 5.64 kcal/g; lípidos, 9.44 kcal/g; carbohidratos, 4.11 kcal/g (NRC, 2011)

⁵ Calculado en base a los precios de insumos obtenidos en el mercado local

de San Marcos (UNMSM), ubicada en el distrito de Campoverde, provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali, Perú (8°39'15"S; 74°56'34"W). Todos los procedimientos se llevaron a cabo según indicaciones de CONCEA (2013) y Jenkins *et al.* (2014) sobre el uso de animales en experimentación animal. Antes del inicio del experimento, todos los peces fueron alimentados con la dieta vegetal por 10 días con el fin de que los animales puedan adaptarse a las condiciones experimentales.

Se siguió un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos, una dieta exclusivamente vegetal y una dieta con bajo contenido de harina de pescado (6%), y seis estanques de tierra excavados de 200 m³ (20 × 10 × 1 m) como unidades experimentales (tres por tratamiento). Se distribuyeron 1200 peces procedentes de la producción propia de la Estación IVITA-Pucallpa, con aproximadamente tres meses de edad (172.8 g; 19.4 cm), en los seis estanques (1 pez/m³). Los estanques se prepararon previamente de

acuerdo con las recomendaciones técnicas de Affonso y Ono (2016), con 1% de reposición diaria de agua para reponer pérdidas por evaporación.

Los peces fueron alimentados dos veces al día (08:00 y 16:00) a una tasa de alimentación del 2% durante 60 días. La crianza se realizó bajo fotoperiodo natural y los parámetros de calidad del agua como oxígeno disuelto (4.12 mg/l), temperatura (26.97 °C) y pH (6.18), fueron monitoreados diariamente (HANNA-HI98194), mostrando valores constantes durante todo el experimento y dentro del rango adecuado para la especie (Saint-Paul, 1984; Wood *et al.*, 1998).

Veinte (20) peces por estanque fueron medidos y pesados al inicio y al final del experimento, con muestreos quincenales para ajustes de la ración, utilizando un ictiómetro confeccionado de madera y una balanza digital gramera Opalux OP-1811A-RD de 5 kg (± 1 g). Se usó eugenol como anestésico para el manejo de los peces a una proporción de 0.2 ml/l (Dos Santos *et al.*, 2021). Se consideró el peso final; ganancia de peso [GP = peso final - peso inicial]; alimento ofrecido [AO = total de alimento ofrecido durante el experimento]; índice de conversión alimenticia [ICA = alimento ofrecido / ganancia de peso]; tasa de crecimiento relativo [TCR (%/día) = $(e^g - 1) \times 100$; donde «e» es el número «nepper» y $g = (\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})) / (\text{tiempo})$]; sobrevivencia [(número final de peces $\times 100$) / número inicial de peces] y factor de condición alométrico de Fulton [$K = \text{peso} / \text{longitud}^3$].

Adicionalmente, se sacrificaron tres peces por estanque con una dosis letal de anestésico (5 ml/l de eugenol) al comienzo (como muestra basal) y al final del estudio. Estos peces se colocaron en una caja isotérmica de 60 L con hielo gel y se transportaron al Laboratorio de Acuicultura del IVITA. Los filetes derecho e izquierdo fueron colectados, molidos (picadora de carne Finezza, Perú), homogeneizados en un *pool* por estanque y enviados al Laboratorio de Bioquímica, Nutrición y Alimentación Animal

de la FMV-UNMSM, Lima, para análisis de composición proximal, donde cada muestra fue analizada por duplicado. Las dietas y los filetes de pescado se analizaron en términos de humedad, proteína, fibra y cenizas de acuerdo con los procedimientos descritos por la AOAC (2005). Los lípidos totales de las dietas y del pescado se determinaron por el método de Bligh y Dryer (1959). Los carbohidratos se calcularon por diferencias de otros nutrientes y la energía bruta se estimó utilizando factores determinados para proteína, 5.64 kcal/g; lípido, 9.44 kcal/g; carbohidratos, 4.11 kcal/g según lo indicado por el NRC (2011).

Para la determinación de los parámetros hematológicos se colectó 1.5 ml de sangre de tres peces por estanque, previamente anestesiados (0.2 ml/l de eugenol), por punción de la vena caudal utilizando EDTA al 10% como anticoagulante (Dos Santos *et al.* 2021). Las muestras se tomaron al inicio (como muestra basal) y al final del experimento. El hemograma completo se realizó por método de impedancia utilizando un equipo automatizado (Mindray BS-240E; Mindray Bc-30). Se determinó la concentración de hemoglobina ([Hb] – g/dl); hematocrito (Ht - %) y recuento de glóbulos blancos (porcentaje de neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos). Asimismo, se determinaron los niveles plasmáticos de glucosa (mg/dl) por el método enzimático-colorimétrico (glucosa oxidasa), triglicéridos (mg/dl) mediante sistema colorimétrico y proteínas totales (g/dl) siguiendo el método biurético modificado.

Análisis Estadístico

La homogeneidad inicial del peso de los peces se confirmó mediante la prueba Q de Cochran y la normalidad se determinó mediante Shapiro-Wilk. Los datos de crecimiento corporal se compararon mediante la prueba t de Student al 5% de probabilidad. Los datos de composición proximal y parámetros sanguíneos se sometieron a un análisis de varianza simple (incluida la muestra basal). En los

casos donde se obtuvo diferencias significativas entre tratamientos, se compararon los promedios mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Los datos fueron procesados utilizando el Software de Estadística 10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso final (258.9 g), ganancia de peso (86.1 g), alimento ofrecido (128.4 g), índice de conversión alimenticia (1.24), tasa de crecimiento relativo (1.74) y factor de condición alométrica de Fulton (1.91) fueron similares en los peces que consumieron las dos dietas del estudio ($p > 0.05$), y sin observarse casos de mortalidad (Cuadro 2). Estos resultados están dentro de lo esperado para la crianza de gamitana bajo buenas prácticas de manejo y alimentación (Inoue *et al.*, 2014) y coinciden con lo reportado para otras especies omnívoras alimentadas con dietas a base de ingredientes de origen vegetal como en el «pacu brasileño» (Gonçalves *et al.*, 2021) y la «tilapia de Mozambique» (Jackson *et al.*, 1982).

Ahmed *et al.* (2018) indican que para que dietas libres de harina de pescado puedan competir incluso con dietas con bajo contenido de harina de pescado, es importante incorporar aminoácidos libres como aditivos en la formulación de la dieta, especialmente considerando las deficiencias de los ingredientes vegetales en metionina y lisina (Barrows *et al.*, 2008). La dieta basada en ingredientes de origen vegetal del presente estudio consideró la adición de aminoácidos sintéticos en pequeñas dosis bajo esa premisa. Asimismo, los resultados de conversión alimenticia (1.24) son próximos a los obtenidos en crianzas comerciales de gamitana en estanques excavados con prácticas adecuadas de manejo (Izel y Melo, 2004).

Estos hallazgos son relevantes porque el uso de una dieta completamente basada en ingredientes de origen vegetal en reemplazo de una dieta conteniendo harina de pescado para juveniles de gamitana permite reducir el costo de alimentación sin afectar el rendimiento animal. No obstante, si bien el ahorro por kilogramo de alimento ofrecido fue mínimo (US\$ 0.05) (Cuadro 1), esto es significativo cuando es extrapolado a la producción piscícola del país y a los cambios del precio internacional de la harina de pescado.

Cuadro 2. Crecimiento corporal de gamitana, *Colossoma macropomum*, criada en estanques de tierra, a los 60 días del consumo de dos dietas isoproteicas e isoenergéticas

| Parámetros de crecimiento | Dieta vegetal | Dieta con harina de pescado (6%) |
|--|----------------------------|----------------------------------|
| Peso inicial (g) | 173.41 ± 0.17 ^a | 172.28 ± 0.17 ^a |
| Peso final (g) | 256.33 ± 6.64 ^a | 261.50 ± 7.21 ^a |
| Ganancia de peso (g) | 83.49 ± 6.64 ^a | 88.66 ± 7.21 ^a |
| Alimento ofrecido (g) | 129.48 ± 7.72 ^a | 127.36 ± 4.14 ^a |
| Índice de conversión alimenticia | 1.28 ± 0.12 ^a | 1.21 ± 0.09 ^a |
| Tasa de crecimiento relativo (%/día) | 1.73 ± 0.01 ^a | 1.74 ± 0.01 ^a |
| Sobrevivencia (%) | 100 ^a | 100 ^a |
| Factor de condición alométrico de Fulton | 1.89 ± 0.02 ^a | 1.92 ± 0.01 ^a |

Los promedios seguidos de letras iguales dentro de la misma fila no difieren estadísticamente, según la prueba t de Student al 5% de probabilidad.

Los resultados se muestran como medias ± desviaciones estándar

Cuadro 3. Composición proximal del músculo de gamitana, *Colossoma macropomum* (porcentaje en base a la materia húmeda), criada en estaqués de tierra, a los 60 días del consumo de dos dietas isoproteicas e isoenergéticas

| Parámetros | Muestra basal | Dieta vegetal | Dieta con harina de pescado (6%) |
|-------------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| Humedad | 78.70±0.77a | 77.50±0.78a | 77.49±0.62a |
| Ceniza | 1.25±0.16a | 1.37±0.21a | 1.54±0.22a |
| Proteínas totales | 18.85±1.90a | 20.42±0.65a | 17.67±2.30a |
| Lípidos totales | 0.90±0.31a | 0.63±0.39a | 1.04±0.28a |

Los promedios seguidos de letras iguales dentro de la misma fila no difieren estadísticamente, según ANOVA y prueba t de Student al 5% de probabilidad. Los resultados se muestran como medias ± desviaciones estándar

La composición proximal de los filetes no fue influenciada por la composición de las dietas (Cuadro 3), posiblemente como respuesta a la formulación isonitrogénica e isocalórica de las dietas (NRC, 2011). Los resultados reflejan lo publicado para gamitanas alimentadas con dietas comerciales, así como con dietas vegetales en otras fases de desarrollo (Cortegano *et al.*, 2019). En cuanto al contenido de lípidos, esta especie se sitúa entre las especies magras (<4.0% de grasa corporal) (Ackman, 1989), coincidiendo con reportes previos obtenidos para gamitanas alimentadas con dieta comercial (1.59%) y dieta vegetal (2.57%) (Cartonilho y Jesus, 2011; Cortegano *et al.*, 2019).

El análisis asociativo de parámetros hematológicos facilita el desarrollo de indicadores del estado de salud de los peces en relación con la nutrición (Ribeiro *et al.*, 2017; Fazio *et al.*, 2019; Dos Santos *et al.*, 2021). Según Santos *et al.* (2010) y Urbinati y Carneiro (2004), la mala nutrición debido a dietas desequilibradas es una de las condiciones estresantes más perjudiciales para la homeostasis biológica de los peces, contribuyendo al fracaso de la crianza, siendo evidenciado en los análisis de parámetros hematológicos. Los resultados hematológicos del presente experimento se muestran en el Cuadro 4.

Los valores de hemoglobina y hematocrito fueron similares para los peces alimentados con las dietas experimentales y la muestra basal, lo que indica que una dieta totalmente vegetal no afecta estos parámetros en comparación con una dieta conteniendo harina de pescado, bajo las mismas condiciones de crianza. Estos valores también fueron similares a los reportados por Santos *et al.* (2010) en gamitanas alimentadas con dietas suplementadas con nuez amazónica en reemplazo de harina de pescado.

El aumento de la glucosa plasmática es una respuesta característica de los peces expuestos a condiciones de estrés crítico o crónico (Trenzado *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2010). En el presente estudio, la glucosa no fue afectada por las dietas utilizadas. Asimismo, las concentraciones plasmáticas de proteína total y triglicéridos, importantes indicadores del estado fisiológico de los animales, no fueron afectados. Por otro lado, los porcentajes de neutrófilos y linfocitos registrados a los 60 días en los peces alimentados con las dietas experimentales fueron similares entre ellos, pero mayores y menores, respectivamente, cuando se comparan a la muestra basal; sin embargo, estas diferencias no fueron suficientes para causar sustanciales efectos sobre los otros parámetros hematológicos y el crecimiento corporal de juveniles de gamitana.

Cuadro 4. Parámetros hematológicos y bioquímicos de gamitana, *Colossoma macropomum*, criada en estanques de tierra, a los 60 días del consumo de dos dietas isoproteicas e isoenergéticas

| | Muestra basal | Dieta vegetal | Dieta con harina de pescado (6%) |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Parámetros hematológicos | | | |
| Hemoglobina (g/dl) | 5.44 ± 0.88 ^a | 5.21 ± 0.77 ^a | 5.78 ± 0.82 ^a |
| Hematocrito (%) | 27.67 ± 2.58 ^a | 32.00 ± 2.00 ^a | 29.00 ± 1.73 ^a |
| Leucocitos (mm ³) | 4,465.8 ± 433.3 ^a | 4,200.0 ± 901.4 ^a | 3,083.3 ± 401.0 ^a |
| Neutrófilos (%) | 22.67 ± 3.79 ^a | 59.33 ± 16.77 ^b | 65.00 ± 5.00 ^b |
| Eosinófilos (%) | - | - | - |
| Basófilos (%) | - | - | - |
| Linfocitos (%) | 79.0 ± 4.0 ^a | 40.7 ± 16.8 ^b | 35.0 ± 5.0 ^b |
| Monocitos(%) | - | - | - |
| Parámetros bioquímicos | | | |
| Glucosa (mg/dl) | 103.67 ± 26.50 ^a | 131.00 ± 49.73 ^a | 76.33 ± 8.02 ^a |
| Triglyceridos (mg/dl) | 342.3 ± 134.1 ^a | 332.7 ± 89.8 ^a | 179.3 ± 18.0 ^a |
| Proteína total (g/dl) | 2.73 ± 0.29 ^a | 2.87 ± 0.23 ^a | 3.07 ± 0.67 ^a |

Promedios seguidos de letras iguales dentro de la misma fila no difieren estadísticamente, según ANOVA y prueba t de Student al 5% de probabilidad.

Los resultados se muestran como medias ± desviaciones estándar

CONCLUSIONES

Una dieta totalmente basada en plantas puede utilizarse para la crianza en estanques de juveniles de gamitana (*Colossoma macropomum*), ya que no afecta el crecimiento, la composición proximal del músculo ni la salud de los peces, en comparación con una dieta conteniendo harina de pescado al nivel utilizado en raciones comerciales.

Agradecimientos

Los autores reconocen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) a través de su unidad ejecutora, PROCIENTIA, para su trabajo de investigación (Proyecto 145-2020-Fondecyt).

LITERATURA CITADA

1. **Ackman RG. 1989.** Nutritional composition of fats in seafoods. *Prog Food Nutr Sci* 13: 161-289.
2. **Affonso EG, Ono EA. 2016.** Piscicultura familiar amazónica. Manaus, Brasil: Wega. 64 p.
3. **Ahmed M, Liang H, Kasiya HC, Ji K, Ge X, Ren M, Liu B, et al. 2018.** Complete replacement of fish meal by plant protein ingredients with dietary essential amino acids supplementation for juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). *Aquac Nutr* 2018: 205-214. doi: 10.1111/anu.12844

4. [AOAC] *Association of Official Analytical Chemists*. 2005. Official methods of analysis of the AOAC International. 18th ed. USA: AOAC. 2200 p.
5. **Barrows FT, Bellis D, Krogdahl A, Silverstein JT, Herman EM, Sealey WM, Rust MB, et al.** 2008. Report of the plant products in aquafeed strategic planning workshop: An integrated, interdisciplinary research roadmap for increasing utilization of plant feedstuffs in diets for carnivorous fish. *Rev Fish Sci* 16: 449-455. doi: 10.1080/10641260802046734
6. **Bligh EG, Dyer WJ.** 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37: 911-917. doi: 10.1139/y59-099
7. **Cartonilho MM, Jesus RS.** 2011. Qualidade de cortes congelados e tambaqui cultivado. *Pesqui Agropecu Bras* 46: 344-350. doi: 10.1590/S0100-204X2011000400002
8. [CONCEA] *National Council for the Control of Animal Experimentation*. 2013. Diretriz brasileira para o cuidado e a utilização de animais para fins científicos e didáticos. Brasília DF, Brasil: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 50 p.
9. **Corrêa CF, Aguiar LH, Lundstedt LM, Moraes G.** 2007. Responses of digestive enzymes of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to dietary cornstarch changes and metabolic inferences. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr* 147: 857-862. doi: 10.1016/j.cbpa.2006.12.045
10. **Cortegano CAA, de Alcântara AM, da Silva AF, Epifânio CMF, Bentes SPC, dos Santos VJ, Visentainer JV, et al.** 2019. Finishing plan diet supplemented with microalgae meal increases the docosahexaenoic acid content in *Colossoma macropomum* flesh. *Aquac Res* 50: 1291-1299. doi: 10.1111/are.14005
11. **Dos Santos RB, Izel-Silva J, Fugimura MMS, Suita SM, Ono EA, Affonso EG.** 2021. Growth performance and health of juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, in a biofloc system at different stocking densities. *Aquac Res* 52: 3549-3559. doi: 10.1111/are.15196
12. **Fazio F, Saoca C, Sanfilippo M, Cappillo G, Spanò N, Piccione G.** 2019. Response of vanadium bioaccumulation in tissues of *Mugil cephalus* (Linnaeus 1758). *Sci Total Environ* 689: 774-780. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.476
13. **Fontainhas-Fernandes A, Gomes E, Reis-Henriques MA, Coimbra J.** 1999. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of Nile tilapia: digestibility and growth performance. *Aquac Int* 7: 57-67. doi: 10.1023/A:1009296818443
14. **Gonçalves LU, Cortegano CAA, Barone RSC, Lorenz EK, Cyrino JEP.** 2021. Effects of dietary linolenic acid to linoleic acid ratio on growth performance, proximate composition and fatty acid contents of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquac Res* 52: 6667-6677. doi: 10.1111/are.15536
15. **Goulding M, Carvalho ML.** 1982. Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Characidae): An importante Amazonian food fish. *Rev Bras Zool* 1: 107-133. doi: 10.1590/S0101-81751982000200001
16. **Guimarães IG, Martins GP.** 2015. Nutritional requirement of two Amazonian aquacultured fish species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) and *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): a mini review. *J Appl Ichthyol* 31: 57-66. doi: 10.1111/jai.12976
17. **Hardy RW.** 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquac Res* 41: 770-776. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x

18. **Hilsdorf AWS, Hallerman E, Valladão GMR, Zaminhan-Hassemer M, Hashimoto DT, Dairiki JK, Takahashi LS, et al. 2022.** The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: from Amazonia waters to sustainable production. *Rev Aquac* 14: 993-1027. doi: 10.1111/raq.12638
19. **Inoue LAKA, Bezerra AC, Miranda WS, Muniz AW, Boijink CL. 2014.** Cultivo de tambaqui em gaiolas de baixo volume: efeito da densidade de estocagem na produção de biomassa. *Cienc Anim Bras* 15: 437-443. doi: 1089-6891v15i426758
20. **Izel ACU, Melo LAS. 2004.** Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados no Estado do Amazonas. Manaus AM, Brasil: Bol Téc Embrapa Amazônia. 24 p.
21. **Jackson AJ, Capper BS, Matty AJ. 1982.** Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture* 27: 97-109. doi: 10.1016/0044-8486(82)90129-6
22. **Jenkins JA, Bowser PR, Bowker JD, MacMillan JR, Nickum JG, Rose JD, Sorensen PW, et al. 2014.** Guidelines for the use of fishes in research. Bethesda, USA: American Fisheries Society. 104 p.
23. **[NRC] National Research of Council. 2011.** Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington DC, USA: National Academies Press. 376 p.
24. **Reverter M, Tapissier-Bontemps N, Sarter S, Sasal P, Caruso D. 2020.** Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Rev Aquac*. 13: 537-555. doi: 10.1111/raq.12485
25. **Ribeiro MS, Fonseca FAL, Queiroz MN, Affonso EG, Conceição LEC, Gonçalves LU. 2017.** Fish protein hydrolysate as na ingrediente in diets for *Arapaima gigas* juveniles. *Bol Inst Pesca* 44: 85-92. doi: 10.20950/1678-2305.-2017.85.92
26. **Saint Paul U. 1984.** Physiological adaptation to hypoxia of a neotropical characoid fish *Colossoma macropomum*, Serrasalminidae. *Environ Biol Fishes* 11: 53-62. doi: 10.1007/BF00001845
27. **Santos MQC, Oishi CA, Pereira Filho M, Lima MAC, Ono EA, Affonso EG. 2010.** Physiological response and performance of tambaqui fed with diets supplemented with Amazonian nut. *Cienc Rural* 40: 2181-2185. doi: 10.1590/S0103-84782010001000021
28. **Trenzado CE, Morales AE, Higuera M. 2006.** Physiological effects of crowding in rainbow trout selected for low and high stress responsiveness. *Aquaculture* 258: 583-593. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.045
29. **Urbinati EC, Carneiro PCF. 2004.** Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura. En: Cyrino JEP, Urbinati EC, Fracalossi DM, Castagnolli N (eds). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: Sociedade Brasileira de Aqüicultura e Biologia Aquática. p 171-193.
30. **Wood CM, Wilson RW, Gonzalez RJ, Patrick ML, Bergman HL, Narahara A, Val AL. 1998.** Response on an Amazonian teleost, the Tambaqui (*Colossoma macropomum*), to low pH in extremely soft water. *Physiol Zool* 71: 658-670. doi: 10.1086/515977