









# Caracterización de lenteja y jacinto de agua, efecto en la digestibilidad aparente en la tilapia

Aroldo Botello-León<sup>1\*</sup> ; Yuniel Méndez-Martínez<sup>2</sup> ; Kirenia Pérez-Corría<sup>1</sup> ;  
Marcos Ortega-Ojeda<sup>1</sup> ; María Teresa-Viana<sup>3</sup> ; Charles Morán-Ribas<sup>1</sup> .

<sup>1</sup>Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Zootecnia, Laboratorio de Acuicultura, Esmeraldas, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Ensenada, México.

\*Correspondencia: [aroldo.botello@utelvt.edu.ec](mailto:aroldo.botello@utelvt.edu.ec)

Recibido: Noviembre 2023; Aceptado: Febrero 2024; Publicado: Mayo 2024.

## RESUMEN

**Objetivo.** Evaluar la composición nutritiva de la lenteja de agua (LA) (*Lemna minor*) y jacinto de agua (JA) (*Eichhornia crassipes*) y su efecto en la digestibilidad aparente de la materia seca (% DAMS), digestibilidad aparente de la proteína cruda (% DAPC) y la digestibilidad aparente de la grasa cruda (% DAGC) en la nutrición de la tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Materiales y métodos.** La LA y el JA se utilizaron para formular nueve dietas isoproteicas (32.47%), isolipídicas (5.46%) e isoenergéticas (16.45 MJ kg<sup>-1</sup>), con tres repeticiones y 15 tilapias machos (36.36±1.16 g) por repetición: 0% (T0); 10% (T10); 15% (T15); 20% (T20) y 25% (T25), respectivamente al azar. Se aplicó un análisis de componentes principales (PCA). **Resultados.** La PC del JA y la LA, fue 21.72% y 27.37% (p<0.05), respectivamente. Los peces alimentados con JA y LA, hasta 10 y 15% de inclusión en la dieta respectivamente, no mostraron diferencias significativas (p>0.05) para la DAMS, aunque para la DAPC y DAGC, hasta 15 y 20%, respectivamente, no se observó diferencias significativas (p>0.05). **Conclusiones.** Las harinas de jacinto de agua y lenteja de agua, son fuente de proteína vegetal alternativa, que pueden sustituir parcialmente la soya y maíz en dietas para la tilapia (*O. niloticus*). El PCA sugiere que la dieta de control, 10% JA, 10-15% LA, mostraron los mejores resultados en términos de digestibilidad aparente de los nutrientes.

**Palabras clave:** Acuicultura; alimentación; peces; plantas acuáticas; proteína (*Fuente: USDA*).

## ABSTRACT

**Objective.** To evaluate the nutritional composition of duckweed (DW) (*Lemna minor*) and water hyacinth (WH) (*Eichhornia crassipes*) and its effect on the apparent digestibility of dry matter (% ADDM), apparent digestibility of crude protein (% ADCP) and the apparent digestibility of the crude lipid (% ADCL) in the nutrition of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Material and methods.** The DW and WH were used to formulate nine isoproteic (32.47%), isolipidic (5.46%) and isoenergetic (16.45 MJ kg<sup>-1</sup>) diets, with three replicates and 15 male tilapia (36.36± 1.16 g) per repetition: 0% (T0);

### Como citar (Vancouver).

Botello-León A, Méndez-Martínez Y, Pérez-Corría K, Ortega-Ojeda M, Teresa-Viana M, Morán-Ribas C. Caracterización de lenteja y jacinto de agua, efecto en la digestibilidad aparente en la tilapia. Rev MVZ Córdoba. 2024; 29(2):e3468. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3468>



©El (los) autor (es) 2024. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

10% (T10); 15% (T15); 20% (T20) and 25% (T25), respectively random. A principal component analysis (PCA) was applied. **Results.** The crude protein (%) of the WH and the DW, were 21.72% and 27.37% ( $p < 0.05$ ), respectively. Fish fed with WH and DW, up to 10 and 15% inclusion in the diet, respectively, did not show significant differences ( $p > 0.05$ ) for ADDM. However, for ADCP and ADCL, up to 15 and 20%, respectively, significant differences ( $p > 0.05$ ) were not observed. **Conclusions.** Water hyacinth and duckweed meals were an alternative vegetable protein source, which can partially replace soybean meal and cornmeal in tilapia diets. The PCA suggests that the control diet, 10% WH, 10-15% DW, showed the best results in terms of the apparent digestibility of the nutrients.

**Keywords:** Aquaculture; aquatic plants; feeding; fish; protein (Source; USDA).

## INTRODUCCIÓN

La tilapia es la segunda especie de pez cultivada a nivel mundial, lo que contribuye a la seguridad alimentaria. Sin embargo, el principal problema de este cultivo es el aumento de los costos asociados con la alimentación (1). Es necesario utilizar fuentes alternativas con un aporte nutricional similar a los alimentos convencionales (2,3).

En este sentido se destaca la diminuta planta acuática lenteja de agua (*Lemna minor*); perteneciente a la familia Lemnaceae, flota libremente en la superficie del agua, se multiplica rápidamente, se adapta fácilmente a diferentes ambientes y su producción (2 a 30 toneladas de materia seca/hectárea/año) depende del espacio, la fertilización, la disponibilidad de nutrientes, pH, entre otros factores (4,5). Esta macrófita muestra un valor promedio de proteína cruda de 30.93%, 2.7% lisina, 0.9% metionina, 1.9% treonina, 0.3% triptófano, 2.0% isoleucina, 2.7% valina y 3.1% arginina (4,6). Los valores de grasa cruda oscilan entre el 2-9%, y del total de ácidos grasos, predominan los poliinsaturados con un 60-63%, principalmente el ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3n-3) del 41-47% y el ácido linoleico (18:2n-6) de 17-18%, seguido de los ácidos grasos saturados (~23-26%) (4,7). El contenido de vitamina E (26.60 mg/100 g) y ácido ascórbico (3.80 mg/100 g), en la composición mineral destacan el potasio y el magnesio, seguidos del sodio y el cobre (6,8). La lenteja de agua se ha utilizado como proteína vegetal para la producción animal (9,10,11).

Otra planta acuática notable es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), que puede crecer flotando en la superficie del agua dulce o en el barro. Su tasa media de producción de biomasa es de 50 toneladas de materia seca/hectárea/año. Puede tolerar condiciones ambientales como humedad, temperatura, iluminación, salinidad, pH, corrientes, viento y sequía y crece durante

todo el año en ríos, estanques, lagos y arrozales sin cuidados agronómicos (12,13). Esta planta es una fuente alternativa de proteína vegetal, con valores de 10 al 20%, 1.9% lisina, 1.1% metionina, 2.0% treonina, 4.3% isoleucina, 3.1% valina, 4.1% arginina, además, grasa cruda entre 2.1-4.3%, cenizas de 11-24%, aunque el contenido de fibra cruda oscila entre 15-27%, que podría limitar su inclusión en la dieta animal (14,15).

Al incluir alimentos en la producción de peces, se debe partir de la composición nutricional, consumo, respuesta de los indicadores productivos y análisis económico (10,16). Sin embargo, el primer paso en la evaluación de la dieta, es determinar la digestibilidad aparente de los nutrientes, que es la fracción de nutrientes y energía del alimento consumido que se digiere y absorbe en el intestino del pez (1).

Los peces deben consumir dietas que suplan los requerimientos nutricionales y que contengan nutrientes de alta digestibilidad. Los nutrientes no absorbidos en el intestino, constituyen la carga de desechos orgánicos vertidos al agua, afectando su calidad y reduciendo el crecimiento de estos organismos acuáticos (17). La información sobre la digestibilidad aparente de nutrientes es esencial en la formulación de dietas para el crecimiento eficiente de los peces (14).

Aunque se ha utilizado la lenteja de agua y el jacinto de agua en dietas para la nutrición de la tilapia, el nivel óptimo de digestibilidad aparente de los nutrientes no se ha investigado a fondo debido a variaciones en las especies de tilapia, hábitos alimentarios (omnívoros o herbívoros), etapa de cultivo, parámetros fisicoquímicos del agua, así como diferencias en las características químicas de estas plantas acuáticas (4,18). Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la composición nutricional de la lenteja de agua y el jacinto de agua y su efecto en la

digestibilidad aparente de la materia seca (%), la proteína cruda (%) y la grasa cruda (%) en la nutrición de tilapia (*O. niloticus*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación.** La investigación se realizó en el Laboratorio de Acuicultura de la Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, ubicado a 0° 53' de longitud norte, 79° 53' de latitud oeste, del cantón y provincia de Esmeraldas, Ecuador.

**Plantas acuáticas para ser utilizadas como ingredientes.** Se recolectaron manualmente muestras frescas de lenteja de agua (*Lemna minor*) y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el Jardín Botánico Tropical Mutilde de la Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, ubicada a 0.890724 de latitud y -79.6211 de longitud. La recolección de lenteja de agua se realizó según Negesse et al. (19). En el caso del jacinto de agua, las plantas se

cosecharon antes de la floración, se lavaron con agua potable y se seleccionaron las hojas, que se cortaron manualmente. Las plantas acuáticas anteriores se secaron individualmente (Horno de convección, Binder, ED 56, Alemania) a 80°C durante 24 horas (20). Posteriormente, se molieron en un molino de martillos (tamiz de 250 µm) para obtener harinas de lenteja de agua (HLA) y jacinto de agua (HJA).

**Dietas experimentales.** Se elaboraron nueve dietas isoproteicas (32.47%), isolipídicas (5.46%) e isoenergéticas (16.45 MJ kg<sup>-1</sup>) (Tabla 1). Se redujo la harina de soya (HS) y la harina de maíz (HM) y se aumentaron proporcionalmente la HLA y la HJA en las dietas (0%, (T0); 10% (T10); 15% (T15); 20% (T20) y 25% (T25)) (8,9,10,14), sin embargo, los niveles de harina de trigo (HT) y harina de pescado (HP) se fijaron en 12 y 20%, respectivamente (Tabla 1), para lograr un aporte similar de la grasa cruda (GC), proteína cruda (PC) y aminoácidos esenciales, según los requerimientos nutricionales de la tilapia (*O. niloticus*) (18,21).

**Tabla 1.** Formulación de dietas con harinas de jacinto de agua y lenteja de agua.

Ingredientes	T0	Jacinto de agua (%)				Lenteja de agua (%)			
		T10	T15	T20	T25	T10	T15	T20	T25
Harina de jacinto de agua	-	10.00	15.00	20.00	25.00	-	-	-	-
Harina de lenteja de agua	-	-	-	-	-	10.00	15.00	20.00	25.00
Harina de pescado	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Harina de soya	35.64	31.78	30.24	28.01	25.91	30.10	27.90	24.69	22.22
Harina de trigo	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Harina de maíz	23.66	17.52	14.06	11.29	8.39	19.20	16.40	14.61	12.08
Aceite de soya	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Cloruro de sodio	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Premezclas <sup>1</sup>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Bentonita	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Fosfato monocálcico	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

<sup>1</sup>Premezcla, composición por kg: Vitamina A: 1200.000 UI; Vitamina D3: 200.000 UI; Vitamina E: 12000 mg; Vitamina K3: 2400 mg; Vitamina B1: 4800 mg; Vitamina B2: 4800 mg; Vitamina B6: 4000 mg; Vitamina B12: 4800 mg; Ácido fólico: 1200 mg; Ácido pantoténico: 12000 mg; Vitamina C: 48000 mg; Biotina: 48 mg; Colina: 65.000 mg; Niacina: 24.000 mg; Fe: 10.000 mg; Cu: 600 mg; Mg: 4000 mg; Zn: 6000 mg; Yo: 20 mg; Co: 2 mg; Se: 20 mg.

Los ingredientes se pesaron en una balanza digital ( $\pm 0,01$  g, FX-2000i A&D Weighing). Para la preparación de las dietas, las harinas de HP, HT, HM, HS, HLA y HJA (ingredientes primarios) fueron molidas y tamizadas (250 µm) y mezcladas para obtener una masa homogénea (Tabla 1). El resto, aceite de soya, cloruro de sodio, premezclas de minerales y vitaminas,

bentonita y fosfato monocálcico, se mezclaron y se agregaron lentamente a los ingredientes primarios. A cada tratamiento dietético, se le añadió agua destilada tibia (300 mL kg<sup>-1</sup> de las dietas). Los gránulos se prepararon con la mezcla húmeda, a temperatura ambiente usando un molino de carne (Hakka-8 Brothers USA) con un diámetro de salida (2 mm). Las dietas se secaron

(Horno de convección, Binder, ED 56, Alemania) individualmente a 80°C durante 24 horas (20) y se almacenaron en bolsas plásticas a -2°C hasta su uso en la prueba de digestibilidad.

**Peces y condiciones experimentales.** Se cultivaron tilapias macho (*O. niloticus*) de 36.36±1.16 g en condiciones controladas en tanques plásticos circulares de 120 L de capacidad. Se mantuvo el fotoperiodo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Se mantuvo la temperatura del agua (termostato de acero inoxidable en cada acuario) y un flujo constante de agua fresca y filtrada (malla de 50 micras) (1). Se mantuvo una aireación constante con piedras porosas acopladas a aireadores de doble salida. La temperatura del agua (27.8 °C), el pH (6.9) y el oxígeno disuelto (6.7 mg L<sup>-1</sup>) se registraron diariamente utilizando el Medidor Multiparamétrico Portátil Orion Star A3290 (Thermo Scientific). La temperatura, el oxígeno disuelto y el pH estuvieron dentro de límites aceptables para el cultivo de tilapia (*O. niloticus*) (22). Antes del bioensayo, las tilapias se aclimataron durante dos semanas a las condiciones de laboratorio y se alimentaron hasta saciedad con las dietas experimentales (Tabla 1).

**Digestibilidad aparente.** Las heces se recolectaron dos veces al día (08:00 y 17:00) antes de alimentar a los peces. Las heces intactas se extrajeron manualmente y se almacenaron individualmente (por unidad experimental) inmediatamente después de ser recolectadas y almacenadas a -2 °C hasta su análisis. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) se calcularon mediante el método indirecto de ceniza ácido insoluble (CAI) como marcador interno según Botello et al. (1):

$$CDA (\%) = 100 - \left[ 100 \times \left( \left( \frac{\%MD}{\%MH} \right) \times \left( \frac{\%NH}{\%ND} \right) \right) \right]$$

Dónde:

MH = marcador en heces.

MD = marcador en la dieta.

ND = nutriente en la dieta.

NH = nutriente en heces.

**Análisis químico.** Todos los análisis químicos se realizaron por triplicado. En las muestras se determinó la materia seca (MS), proteína cruda (PC), grasa cruda (GC), fibra cruda (FC), cenizas y el extracto libre de nitrógeno (ENF)

por diferencia según la AOAC (23). La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina ácida detergente (LAD), se caracterizaron según Van Soest et al. (24). Se determinó la ceniza ácido insoluble (CAI) como marcador interno en dietas y heces; según la técnica validada por Van Keulen y Young (25). El azufre (S) y el fósforo (P) se analizaron mediante espectrofotometría-colorimetría visible, utilizando un Espectrofotómetro Spectronics-USA, modelo Genesys, USA, 2006, rango digital: 325 a 1100 nm. El magnesio (Mg), calcio (Ca), cobre (Cu), potasio (K), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) se analizaron por absorción atómica con un equipo GBC XplorAA Dual, Australia, 2014. La energía bruta (EB) se calculó a partir de la composición nutricional de los alimentos, utilizando los valores teóricos según Tacon (26): 5.6, 9.5 y 4.1 Kcal g<sup>-1</sup> de proteínas, lípidos y carbohidratos, respectivamente. La energía digestible (ED) se estimó teóricamente según Ramanathan et al. (27) a partir de los factores de conversión de 4.25 proteína animal, 8.0 para lípidos, 2.0 (legumbres), 3.8 proteína vegetal y 3.0 kcal g<sup>-1</sup> para carbohidratos (no legumbres).

**Análisis estadístico.** Las diferencias en los promedios de la composición nutritiva de las plantas acuáticas LA y JA fueron evaluadas mediante la prueba T-Student para muestras independientes. Se suministraron nueve dietas a los peces, en un diseño completamente al azar (tres repeticiones y 15 tilapias por repetición). Los datos sobre la composición nutricional de las dietas y la digestibilidad de los nutrientes en las tilapias alimentadas con las harinas de LA y JA, se procesaron mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA, p<0.05). Para analizar las diferencias entre medias se utilizó la prueba de Duncan (p<0.05). Además, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizando la matriz de covarianza para explorar diferencias en la composición química (materia seca, proteína cruda, grasa cruda, cenizas, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, fibra detergente neutra y fibra detergente ácido) y la digestibilidad aparente (digestibilidad aparente de la materia seca, digestibilidad aparente de la proteína cruda y digestibilidad aparente de la grasa cruda) entre nueve tratamientos basados en la inclusión de jacinto de agua y lenteja de agua en dietas para la nutrición de tilapia y examinar la relación entre toda la información (20). Los análisis se realizaron con el software estadístico IBM SPSS V 23 (2014).

## RESULTADOS

Al deshidratar estas dos plantas acuáticas, las harinas presentaron valores de materia seca superiores al 90% (Tabla 2), y no se observaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ). El contenido de PC de las harinas JA y LA fueron estadísticamente diferente ( $p<0.05$ ) con valores de 21.72 y 27.37%, respectivamente. El lípido crudo (%) para LA y JA varió ( $p<0.05$ ) de 3.69 a 4.35%, respectivamente (Tabla 2). Los valores de CF, FND, FDA, DAL, celulosa y hemicelulosa fueron significativamente ( $p<0.05$ ) mayores en el JA con relación a la LA (Tabla 2). Las cifras

de macro y micro minerales de las plantas acuáticas se muestran en la Tabla 2; a excepción de calcio, potasio y hierro, los contenidos de magnesio, azufre, cobre, manganeso y zinc fueron estadísticamente mayores ( $p<0.05$ ) en el JA que en LA (Tabla 2).

Al incluir las harinas de LA y JA, progresivamente al 0, 10, 15, 20 y 25% en las dietas para las tilapias (*O. niloticus*), la composición nutricional no mostró diferencias significativas ( $p>0.05$ ) para MS (%), PC (%), GC (%) y EB ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ), lo que facilita la comparación entre los tratamientos (Tabla 3).

**Tabla 2.** Características químicas de las harinas de lenteja de agua y jacinto de agua.

Indicadores	Jacinto de agua	Lenteja de agua	p
<b>Composición bromatológica (% base húmeda)</b>			
Materia seca (MS)	90.53±0.43 <sup>a</sup>	90.61±0.52 <sup>a</sup>	0.848
Proteína cruda (PC)	21.72±0.46 <sup>b</sup>	27.37±0.27 <sup>a</sup>	0.000
Grasa cruda (GC)	4.35±0.23 <sup>a</sup>	3.69±0.17 <sup>b</sup>	0.016
Fibra cruda (FC)	16.41±0.39 <sup>a</sup>	10.03±0.62 <sup>b</sup>	0.000
Ceniza	14.67±0.14 <sup>a</sup>	15.12±0.20 <sup>a</sup>	0.034
Extracto libre de nitrógeno (ELN)	33.38±0.71 <sup>a</sup>	34.41±0.76 <sup>a</sup>	0.162
Energía bruta (EB, $\text{MJ kg}^{-1}$ )	12.54±0.07 <sup>b</sup>	13.78±0.15 <sup>a</sup>	0.000
<b>Fraccionamiento de fibra (% base seca)</b>			
Fibra detergente neutro (FDN)	41.69±0.44 <sup>a</sup>	32.72±0.25 <sup>b</sup>	0.000
Fibra detergente ácido (FDA)	26.43±0.39 <sup>a</sup>	21.77±0.22 <sup>b</sup>	0.000
Lignina ácida detergente (LAD)	5.83±0.08 <sup>a</sup>	4.61±0.10 <sup>b</sup>	0.001
Celulosa	20.60±0.36 <sup>a</sup>	17.16±0.28 <sup>b</sup>	0.000
Hemicelulosa	15.26±0.57 <sup>a</sup>	10.94±0.45 <sup>b</sup>	0.001
<b>Macrominerales (% base seca)</b>			
Calcio	1.22±0.07 <sup>b</sup>	2.18±0.16 <sup>a</sup>	0.001
Fósforo	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.49±0.07 <sup>a</sup>	0.749
Magnesio	0.48±0.02 <sup>a</sup>	0.34±0.03 <sup>b</sup>	0.002
Potasio	3.41±0.09 <sup>b</sup>	4.09±0.10 <sup>a</sup>	0.001
Azufre	0.39±0.03 <sup>a</sup>	0.21±0.02 <sup>b</sup>	0.001
<b>Minerales traza (mg/kg, base seca)</b>			
Cobre	8.95±0.33 <sup>a</sup>	5.13±0.42 <sup>b</sup>	0.000
Hierro	614.33±5.03 <sup>b</sup>	642.33±4.51 <sup>a</sup>	0.002
Manganeso	284.36±4.55 <sup>a</sup>	230.33±4.04 <sup>b</sup>	0.000
Zinc	32.97±0.47 <sup>a</sup>	28.17±0.76 <sup>b</sup>	0.001

Media ± Desviación estándar. n=3. Letras difieren en la misma fila ( $p<0.05$ ).

**Tabla 3.** Composición nutritiva (% base húmeda) de las dietas con harinas de jacinto de agua y lenteja de agua.

Indicadores	T0	Jacinto de agua (%)				Lenteja de agua (%)				EE±	p
		T10	T15	T20	T25	T10	T15	T20	T25LA		
Materia seca	92.65	92.51	92.91	93.12	92.08	92.62	92.27	92.56	92.73	0.116	0.658
Proteína cruda	32.54	32.49	32.61	32.47	32.38	32.43	32.58	32.36	32.41	0.043	0.916
Grasa cruda	5.29	5.47	5.51	5.56	5.61	5.41	5.42	5.44	5.46	0.035	0.698
Fibra cruda	2.15 <sup>g</sup>	3.51 <sup>de</sup>	4.20 <sup>c</sup>	4.87 <sup>b</sup>	5.55 <sup>a</sup>	2.84 <sup>f</sup>	3.19 <sup>ef</sup>	3.53 <sup>de</sup>	3.88 <sup>cd</sup>	0.194	0.000
Ceniza	10.69 <sup>e</sup>	12.07 <sup>d</sup>	12.67 <sup>c</sup>	13.25 <sup>b</sup>	13.84 <sup>a</sup>	12.08 <sup>d</sup>	12.69 <sup>c</sup>	13.27 <sup>b</sup>	13.86 <sup>a</sup>	0.190	0.000
Extracto libre de nitrógeno	41.98 <sup>a</sup>	38.97 <sup>bc</sup>	37.92 <sup>cd</sup>	36.97 <sup>d</sup>	34.70 <sup>e</sup>	39.86 <sup>b</sup>	38.39 <sup>bcd</sup>	37.96 <sup>cd</sup>	37.12 <sup>d</sup>	0.396	0.000
Fibra detergente neutro (% base seca)	4.77 <sup>h</sup>	8.71 <sup>ef</sup>	9.83 <sup>cd</sup>	11.52 <sup>b</sup>	12.69 <sup>a</sup>	7.64 <sup>g</sup>	8.53 <sup>f</sup>	9.30 <sup>de</sup>	10.51 <sup>c</sup>	0.430	0.000
Fibra detergente ácido (% base seca)	2.24 <sup>g</sup>	4.55 <sup>e</sup>	5.70 <sup>c</sup>	6.85 <sup>b</sup>	8.00 <sup>a</sup>	4.05 <sup>f</sup>	4.96 <sup>d</sup>	5.86 <sup>c</sup>	6.77 <sup>b</sup>	0.320	0.000
Energía bruta (MJ kg <sup>-1</sup> )	16.93	16.47	16.34	16.16	15.77	16.59	16.37	16.26	16.13	0.157	0.973
Energía digerible (MJ kg <sup>-1</sup> )	12.26	12.01	11.89	11.76	11.63	12.12	12.04	11.96	11.89	-	-
PC ED <sup>-1</sup> (mg PC MJ <sup>-1</sup> )	29.39	30.16	30.13	30.93	31.09	29.92	30.22	30.43	30.42	-	-
<b>Aminoácidos esenciales calculados (% base seca)</b>										<sup>1</sup>	
Treonina	1.60	1.56	1.54	1.52	1.50	1.58	1.56	1.54	1.52	1.05	
Valina	1.89	1.85	1.81	1.78	1.75	1.86	1.82	1.79	1.76	0.78	
Metionina	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.79	0.78	0.77	0.76	0.73	
Isoleucina	1.56	1.52	1.49	1.46	1.43	1.53	1.50	1.47	1.44	0.87	
Leucina	2.83	2.78	2.73	2.68	2.63	2.80	2.77	2.74	2.71	0.95	
Lisina	2.15	2.12	2.09	2.06	2.03	2.13	2.11	2.09	2.07	1.43	
Histidina	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.86	0.84	0.82	0.80	0.48	
Arginina	1.86	1.82	1.78	1.74	1.70	1.83	1.80	1.77	1.74	1.18	
Triptófano	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	
Fenilalanina	1.50	1.46	1.42	1.38	1.34	1.47	1.43	1.39	1.35	1.05	

EE± = Error estándar. <sup>a,b,c,d,e,f,g,h</sup> Letras difieren en la misma fila (p<0.05). n=3. <sup>1</sup>Requerimientos de aminoácidos esenciales de la tilapia (*O. niloticus*) según NRC (21).

La DAMS fue significativamente similar (p>0.05) hasta el 10 y 15% de inclusión en las dietas de JA y LA, respectivamente, mientras que los niveles más altos mostraron valores más bajos (Tabla 4). Al incluir en la ración las harinas de JA y LA hasta 15% y 20% respectivamente, no se observaron diferencias significativas (p>0.05) para ADGC y ADPC, esta última con cifras superiores al 80% en todos los tratamientos (Tabla 4), muy favorable en la nutrición de la tilapia.

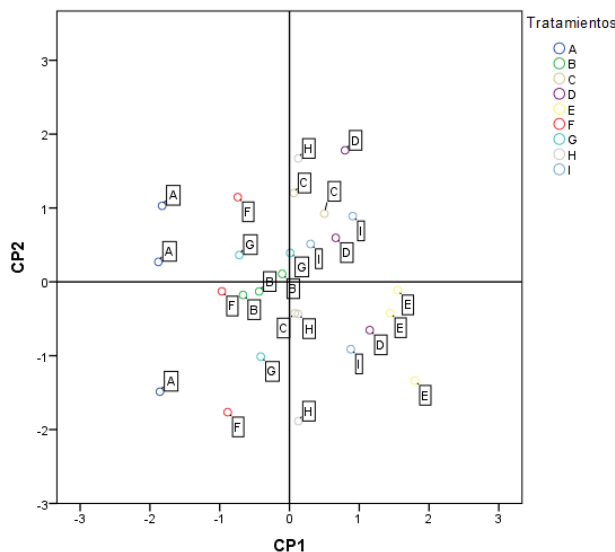
El análisis de las componentes principales (PCA) que se muestra en la Figura 1, facilita agrupar

los tratamientos según la composición nutricional de las dietas y la digestibilidad aparente de los nutrientes que más destacan. Las principales componentes CP1 (55,83%) y CP2 (14,28%), en conjunto explicaron el 70,10% de la varianza total entre los indicadores investigados: materia seca (%), proteína cruda (%), grasa cruda (%), fibra cruda (%), cenizas (%), extracto libre de nitrógeno (%), fibra detergente neutro (%), fibra detergente ácido (%), energía bruta (MJ kg<sup>-1</sup>), digestibilidad aparente de la materia seca (%), digestibilidad aparente de la proteína cruda (%) y digestibilidad aparente de la grasa cruda (%).

**Tabla 4.** Resultados de la digestibilidad aparente de los nutrientes (%) en la nutrición de la tilapia con dietas a base de las harinas de lenteja de agua y jacinto de agua.

Tratamientos	Inclusión dietas (%)	DAMS (%)	DAPC (%)	DAGC (%)	
Control	0	77.47 <sup>a</sup>	89.85 <sup>a</sup>	86.73 <sup>a</sup>	
	10	75.87 <sup>ab</sup>	88.53 <sup>ab</sup>	85.08 <sup>ab</sup>	
	Lenteja de agua	15	73.62 <sup>ab</sup>	87.25 <sup>ab</sup>	84.80 <sup>ab</sup>
		20	71.71 <sup>bcd</sup>	85.64 <sup>abc</sup>	82.24 <sup>abc</sup>
		25	69.19 <sup>cd</sup>	83.13 <sup>bc</sup>	80.13 <sup>bc</sup>
Jacinto de agua	10	73.02 <sup>abcd</sup>	87.02 <sup>ab</sup>	83.83 <sup>abc</sup>	
	15	71.74 <sup>bcd</sup>	85.03 <sup>abc</sup>	81.03 <sup>bc</sup>	
	20	69.38 <sup>cd</sup>	83.17 <sup>bc</sup>	79.57 <sup>bc</sup>	
	25	67.58 <sup>d</sup>	80.29 <sup>c</sup>	78.49 <sup>c</sup>	
	EE±	0.757	0.738	0.702	
p	0.011	0.029	0.032		

a,b,c,d Letras difieren en la misma columna (p<0.05). EE±: error estándar. n=3. DAMS=digestibilidad aparente de la materia seca. DAPC=digestibilidad aparente de la proteína cruda. DAGC=digestibilidad aparente de la grasa cruda.



**Figura 1.** Análisis de componentes principales (CP1: grasa cruda (GC), fibra cruda (FC), ceniza, extracto libre de nitrógeno (ELN), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), digestibilidad aparente de la proteína cruda (DAPC) y la digestibilidad aparente de la grasa cruda (DAGC), CP2: materia seca (MS), proteína cruda (PC) y energía bruta (EB)) de las diferentes dietas con jacinto de agua (JA) y lenteja de agua (LA). Dieta de control (A), 10% JA (B), 15% JA (C), 20% JA (D), 25% JA (E), 10% LA (F), 15% LA (G), 20% LA (H) y 25% LA (I).

El primer componente (PC1) separó la grasa cruda (%), fibra cruda (%), cenizas (%), fibra detergente neutro (%) y la fibra detergente ácido (%) con una alta carga positiva. Además, muestra una alta carga negativa el extracto libre de nitrógeno (%), digestibilidad aparente de la materia seca (%), digestibilidad aparente de la proteína cruda (%) y digestibilidad aparente de la grasa cruda (%) (Tabla 5). En el segundo componente (CP2), la materia seca (%) y la proteína cruda (%) se separaron del resto, con carga con carga positiva y la energía bruta (MJ kg<sup>-1</sup>) con carga negativa (Tabla 5).

**Tabla 5.** Resumen de la matriz de componentes de los tratamientos con plantas acuáticas.

Variables	Componente	
	1	2
Materia seca (%)	-0.086	0.776
Proteína cruda (%)	-0.124	0.798
Grasa cruda (%)	0.524	-0.101
Fibra cruda (%)	0.929	0.041
Ceniza (%)	0.916	-0.068
Extracto libre de nitrógeno (%)	-0.952	0.162
Fibra detergente neutro (%)	0.971	0.021
Fibra detergente ácido (%)	0.973	0.012
Energía bruta (MJ kg <sup>-1</sup> )	-0.112	-0.582
Digestibilidad aparente de la materia seca (%)	-0.805	-0.191
Digestibilidad aparente de la proteína cruda (%)	-0.793	-0.231
Digestibilidad aparente de la grasa cruda (%)	-0.783	0.048
Varianza explicada (%)	55.826	14.279
Varianza acumulada (%)	55.826	70.105

En la Figura 1 se muestra que los tratamientos A, B, F y G tienden a tener carga positiva en CP1, que muestra alto nivel de digestibilidad aparente de la materia seca (%), digestibilidad aparente de proteína cruda (%) y digestibilidad aparente de la grasa cruda (%). Las dietas C, D, E y H muestran un aumento en el contenido de fibra cruda (%), fibra detergente neutro (%) y fibra detergente ácido (%), siendo mayor en CP1 (Figura 1). El resto de los tratamientos tienden a localizarse en PC2, con incremento de la proteína cruda (%) y grasa cruda (%). A partir del PCA, fue posible reducir la dimensionalidad en la que se expresa el conjunto original de los tratamientos, mostrando que el grupo control dieta (A), 10% JA (B), 10% LA (F) y 15% LA (G) muestran mejores características en función de las variables analizadas.

## DISCUSIÓN

El aumento de la producción acuícola requiere que se incluyan fuentes alternativas de proteínas en las formulaciones dietéticas para peces, sin afectar el crecimiento y la calidad del pescado. Además, se debería lograr un efecto positivo sobre la sostenibilidad económica y ambiental (1,3). Se ha estudiado ampliamente la producción y composición nutricional de las plantas acuáticas como fuente de proteínas para los peces (28). Sin embargo, la producción de plantas acuáticas, como la lenteja de agua y el jacinto de agua, depende de varios aspectos. Además, de su disponibilidad, las características del hábitat, estación del año, densidad y nutrientes, entre otras, son imperativas para estandarizar su calidad. Por ejemplo, el clima y la disponibilidad de nutrientes determinan su composición nutricional, como el contenido de proteínas (4,5).

Además, ambas plantas tienen un alto contenido de agua, lo que hace que el proceso de secado sea difícil y rentable, lo que aumenta el costo y la huella de carbono. Por ello se recomienda estudiar su incorporación de forma fresca, cuando la disponibilidad sea local, añadiendo el producto húmedo tras la molienda. De lo contrario, su transporte, almacenamiento y uso será difícil y costoso (10,29).

Los niveles de PC determinados en estas plantas acuáticas (Tabla 2) respaldan su posibilidad como fuente de proteína vegetal, que podría reemplazar parcialmente las harinas de soya y de pescado en las dietas de peces y crustáceos (10,11,15). En cuanto a los niveles de cenizas en el JA y la LA, fueron superiores al 14% y no mostraron diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre ellos (Tabla 2). El alto contenido de cenizas en las plantas acuáticas probablemente se deba a la acumulación de minerales absorbidos del agua (10).

Martínez-Yáñez et al (30), al caracterizar la composición química de la *Lemna minor*, obtuvieron cifras de calcio 0.26% y fósforo 0.96% alejadas de cifras deseadas para suplir un equilibrio en nutrición de 1:1 (18). En comparación, varias fuentes de proteínas, incluidos los subproductos del pescado, también contienen altos niveles de cenizas. Sin embargo, la relación Ca/P es una preocupación para cualquier especie de cría (18).

Respecto a otros minerales, se observaron cifras significativamente mayores ( $p < 0.05$ ) para el cobre, manganeso y zinc, aunque no para el hierro en el JA respecto a la LA. Lata y Dubey (31) realizaron análisis de macro y micro minerales en el JA en el Ca, P y K con cifras de 0.36, 0.22 y 2.30 g/100 g MS, respectivamente, y en Cu, Fe, Mn y Zn, de 2.00, 280.00, 332.00 y 45.00 mg/kg. En la investigación actual (Tabla 2), hubo variaciones en algunos minerales en comparación con los resultados de los estudios anteriores, porque el hábitat, la edad, la temperatura y la composición del agua difirieron. Los niveles de macro y micro minerales presentes en las harinas JA y la LA, podrían contribuir a satisfacer los requerimientos minerales de diferentes especies animales. Por lo tanto, se recomienda evaluar y enriquecer el contenido de P, para que esté perfectamente equilibrado según las necesidades de los peces.

Según el NRC (18), en las dietas para peces se debe analizar la fuente de proteínas y su calidad, que está determinada por el contenido y la digestibilidad de los aminoácidos (3). En el presente trabajo se muestra un equilibrio similar de aminoácidos esenciales en correspondencia con los requerimientos de la especie (18,21). En general, los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para FC, FDN y FDA (Tabla 3), con cifras mayores para 20 y 25% de JA y 25% para la LA, que podría afectar el crecimiento de los peces (1). Botello et al (1) evaluaron el uso de la torta de palmiste (*Elaeis guineensis*) en dietas para la tilapia (*O. niloticus*) y hasta 10% de inclusión, la digestibilidad aparente de los nutrientes no se afectó ( $p > 0.05$ ). Obirikorang et al (17), al utilizar 30% de torta de palmiste en la nutrición de la tilapia (*O. niloticus*), observaron afectación en el crecimiento de los peces, alta producción de heces ( $p < 0.05$ ) y reducción en la calidad del agua debido al alto contenido de FC en la dieta.

Debnath et al (14) evaluaron el efecto de la incorporación dietética de JA en el pez *Labeo rohita*, hasta un 10% de la ración, no observaron diferencias ( $p > 0.05$ ) en la DAMS y LA DAPC. Sotolu y Sule (32) obtuvieron disminución en la digestibilidad aparente de la PC, GC y el crecimiento del bagre (*Claria gariepinus*), al incluir JA hasta 31.63% de la dieta. En dietas para la carpa común (*Cyprinus carpio*) y la tilapia (*O. niloticus*), la LA se ha incluido en 11.2% y 11.7%, respectivamente, sin afectar los indicadores de crecimiento, utilización del alimento y digestibilidad de nutrientes ( $p > 0.05$ ).



(10,33). En las investigaciones mencionadas anteriormente no se suplementaron las dietas con aminoácidos esenciales, y no se tuvo en cuenta el perfil de aminoácidos esenciales en las raciones, lo que podría afectar el crecimiento de los peces.

Además de la composición nutricional de los alimentos, también se deben determinar los factores antinutricionales. El crecimiento puede verse afectado por el aumento de factores antinutricionales en las dietas de los peces (8,13). Kalita et al (8) determinaron factores antinutricionales en la lenteja de agua (*Lemna minor*), como inhibidor de tripsina (1.47%), oxalato de calcio (3.50%), tanino (0.90%) y fitatos (0.004%). Suleyman et al (13) determinaron nitrato, ácido cianhídrico, fitato y oxalato en el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), con cifras de  $0.38 \pm 0.01$  mg/100g,  $0.56 \pm 0.01$  mg/100g,  $4.06 \pm 1.69$  mg/100g y  $0.33 \pm 0.05$  mg/100g respectivamente, lo que podría afectar la digestibilidad de los nutrientes, dependiendo del nivel de inclusión de estas plantas acuáticas en las dietas. En el presente trabajo no se determinó el contenido de oxalato de ambos ingredientes, por lo que se recomienda analizarlo en el futuro, al poder existir variaciones según las condiciones ambientales.

Para la formulación de dietas en los peces, se debe partir de los requerimientos nutricionales, la composición nutricional y la digestibilidad aparente de los nutrientes en las dietas (1,20). Es crucial, al comparar tratamientos que varían significativamente ( $p < 0.05$ ) en la composición nutritiva y digestibilidad aparente de nutrientes (Tablas 3, 4). Botello et al (20) utilizaron el análisis de componentes principales para evaluar las variables: materia seca (%), proteína cruda (%), fibra cruda (%), grasa cruda (%), energía bruta ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ), cenizas (%) y costos ( $\text{USD kg}^{-1}$ ) de un total de 20 dietas elaboradas con vísceras de pollos de engorde, presecadas con diferentes harinas vegetales. Los resultados revelaron que CP1: 43.23% y CP2: 19.07%,

respectivamente, explicaron el 62.30% de las diferencias en las respuestas de los indicadores analizados. La investigación demostró que para CP1 las principales diferencias se observaron en PC, EB y costo, y para CP2 fue la GC.

En la presente investigación se evaluó la composición nutricional de las dietas y su efecto en la digestibilidad aparente de los nutrientes en la tilapia (*O. niloticus*) y coincidió con investigaciones anteriores, en el caso de CP2, se destaca la proteína y energía, que son muy importante en las actividades metabólicas y crecimiento de los peces (3,28,34), demostrando que del total de los tratamientos, cuatro de ellos mostraron los mejores resultados en función de las variables analizadas.

En conclusión, las harinas de jacinto de agua y la lenteja de agua, son fuentes alternativas de proteína vegetal que pueden reemplazar parcialmente las harinas de soya y de maíz en dietas para la tilapia (*O. niloticus*). El análisis de componentes principales sugiere que 10% JA, 10-15% LA, revelaron los mejores resultados en la digestibilidad aparente de los nutrientes, similares a los mostrados en la dieta control.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección de Investigación de la Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador.

### Financiamiento

Agradecemos el financiamiento de la Dirección de Investigación de la Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador para el Proyecto Código: I+D13.

## REFERENCIAS

1. Botello AL, Martínez YM, Viana MT, Ortega MO, Morán CM, Pérez KC, et al. Effect of palm kernel cake in the nutrition for tilapia fry (*Oreochromis niloticus*). Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(2):1-10. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2527>
2. Botello AL, Martínez YA, Cotera MB, Morán CM, Ortega MO, Pérez KC, et al. Growth performance, carcass traits and economic response of broiler fed of palm kernel meal (*Elaeis guineensis*). Cuba J Agric Sci. 2020; 54(4):1-12. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/986>
3. Méndez-Martínez Y, Narváez-Narváez RI, Angulo C, Cortés-Jacinto E, Botello-León A, et al. Chemical composition of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) and its effect on growth performance, feed efficiency and metabolic biochemistry of juvenile hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*. Not Bot Horti Agrobo. 2023; 51(3):1-20. <https://doi.org/10.15835/nbha51313337>
4. Chakrabarti R, Clark WD, Sharma JG, Goswami RK, Shrivastav AK, Tocher DR. Mass Production of *Lemna minor* and Its Amino Acid and Fatty Acid Profiles. Front Chem. 2018; 6(479):1-16. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00479>
5. Krzywonos M, Romanowska-Duda Z, Seruga P, Messyasz B, Mec S. The Use of Plants from the Lemnaceae Family for Biofuel Production—A Bibliometric and In-Depth Content Analysis. Energies. 2023; 16(4):1-24. <https://doi.org/10.3390/en16042058>
6. Ifie I, Olatunde S, Ogbon O, Umukoro JE. Processing techniques on phytochemical content, proximate composition, and toxic components in duckweed. Int J Veg Sci. 2020; 27(3):294-302. <https://doi.org/10.1080/19315260.2020.1781320>
7. Yan Y, Candreva J, Shi H, Ernst E, Martienssen R, Schwender J, et al. Survey of the total fatty acid and triacylglycerol composition and content of 30 duckweed species and cloning of a  $\Delta 6$ -desaturase responsible for the production of  $\gamma$ -linolenic and stearidonic acids in *Lemna gibba*. BMC Plant Biol. 2013; 13(201):1-14. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-201>
8. Kalita P, Mukhopadhyay PK, Mukherjee AK. Evaluation of the nutritional quality of four un explored aquatic weeds from northeast India for the formulation of cost-effective fish feeds. Food Chem. 2007; 103(1):204-209. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.007>
9. Eid A, Mohamed K, Abd-elfattah B. Effect of Replacement of Soybean Meal with Duckweed (*Lemna minor*) Meal on the Growth Performance and Feed Utilization in Nile Tilapia Fingerlings. JAPFP. 2017; 6(1):7-12. [https://journals.ekb.eg/article\\_7415\\_67ee66247e149553f8bd189d73e01d9a.pdf](https://journals.ekb.eg/article_7415_67ee66247e149553f8bd189d73e01d9a.pdf)
10. Asimi OA, Khan IA, Bhat TA, Husain N. Duckweed (*Lemna minor*) as a plant protein source in the diet of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. J Pharmacogn Phytochem. 2018; 7(3):42-45. <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue3/PartA/7-2-494-213.pdf>
11. Paguia HM, Pinsel JR, Paguia RQ, Abuan AG, Zabala SD, Corpuz MN, et al. Feeding Value of Fermented Duckweed Meal (*Lemna minor* Linn.) as a Plant Protein Components in the Formulated Diets of Free-Range Chicken (*Gallus gallus domesticus* Linn.). J Adv Agric Technol. 2023; 10(1):16-20. <https://doi.org/10.18178/joaat.10.1.16-20>
12. Su W, Sun Q, Xia M, Wen Z, Yao Z. The resource utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms) and its challenges. Resources. 2018; 7(3):1-9. <https://doi.org/10.3390/resources7030046>

13. Suleiman M, Khadija AY, Nasiru Y, Garba AA, Alhassan M, Bello J. Proximate, Minerals and Anti-Nutritional Composition of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Grass. Earthline J Chem Sci. 2020; 3(1):51-59. <https://doi.org/10.34198/ejcs.3120.5159>
14. Debnath D, Yengkokpam S, Bhattacharjya BK, Biswas P, Prakash C, Kohli MP, et al. Effect of dietary incorporation of dry-powdered water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) meal on growth and digestibility of *Labeo rohita* fingerlings. Proc Zool Soc. 2016; 71(2018):74-82. <https://doi.org/10.1007/s12595-016-0187-6>
15. Alkassar SA, Al-Shukri AY. Effect of replacement water hyacinth meal (*Eichhornia crassipes*) by wheat in production and carcass traits in ross broiler chickens. Plant Arch. 2018; 18(2):2187-2193. [https://plantarchives.org/18-02/2187-2193%20\(4509\).pdf](https://plantarchives.org/18-02/2187-2193%20(4509).pdf)
16. Valdiviá NM, Martínez AY, Mesa FO, Botello LA, Betancur HC, Velázquez MB. Review of *Moringa oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals. Anim Feed Sci Tech. 2020; 260(2020):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114338>
17. Obirikorang KA, Amisah S, Fialor SC, Skov PV. Effects of dietary inclusions of oilseed meals on physical characteristics and feed intake of diets for the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquacult Rep. 2015; 1(2015):1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.01.002>
18. National Research Council (NRC). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington, DC: The National Academies Press; 2011. <https://doi.org/10.17226/13039>
19. Negesse, T., H.P. Makkar, and K. Becker. Nutritive value of some non-conventional feed resources of Ethiopia determined by chemical analyses and an in vitro gas method. Anim Feed Sci Tech. 2009; 154(2009): 204-217. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.09.010>
20. Botello AL, Pérez KC, Méndez YM, Ortega MO, Martínez YA, Rodríguez YV, et al. Chemical composition of chicken intestines pre-dried with vegetable meals: alternative protein for aquaculture. Rev MVZ Córdoba. 2023; 28(2):1-11. <https://doi.org/10.21897/rmvz.3058>
21. National Research Council (NRC). Nutrient Requirement of Fish. Committee on Animal Nutrition, Board of Agriculture, National Research Council. National Academic Press: Washington, DC USA; 1993. <https://www.nap.edu/catalog/2115/nutrient-requirements-of-fish>
22. Obirikorang KA, Gyamfi S, Goode ME, Amisah S, Edziyie RE, Quagrainie K, et al. Effect of soybean meal diets on the growth performance, ammonia excretion rates, gut histology and feed cost of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. Aquac Res. 2020; 51(9):3520-3532. <https://doi.org/10.1111/are.14689>
23. Official Methods of Analysis (AOAC), 19th edn. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA. 2012. [https://www.techstreet.com/standards/official-methods-of-analysis-of-aoac-international-19th-edition-2012?product\\_id=1881941](https://www.techstreet.com/standards/official-methods-of-analysis-of-aoac-international-19th-edition-2012?product_id=1881941)
24. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. J Dairy Sci. 1991; 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
25. Van Keulen J, Young BA. Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. J Anim Sci. 1977; 44(2):282-287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
26. Tacon A. Standard Methods for the Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp. Argent Laboratories Press: Washington; 1990.
27. Ramanathan G, Ramalakshmi P, Gopperundevi B, Suresh JI. Production Characterization and Aqua Feed Supplementation of Astaxanthin from *Halobacterium salinarium*. Int J Curr Microbiol App Sci. 2015; 4(3):56-63. <https://www.ijcmas.com/vol-4-3/G.Ramanathan,%20et%20al.pdf>

28. Opiyo M, Mbogo K, Obiero K, Orina P, Muendo, P. Nutritional Composition of Duckweed (*Lemna minor*) Cultured with Inorganic Fertilizer and Organic Manure in Earthen Ponds. *LimnoFish*. 2023; 9(3):123-129. <https://doi.org/10.17216/LimnoFish.1152512>
29. Pérez-Corría K, Botello-León A, Mauro-Félix A, Rivera-Pineda F, Viana M, Cuello-Pérez M, et al. Chemical composition of earthworm (*Eisenia foetida*) co-dried with vegetable meals as an animal feed. *Rev Ciencia y Agricultura*. 2019; 16(2):79-92. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9130>
30. Martínez-Yáñez R, Albertos-Alpuche PJ, Guzmán-Mendoza R, Robaina-Robaina LE, Álvarez-González A, Díaz-Plascencia D. Production and chemical composition of hydrophytes cultivated in aquaponics. *Ecosist Recur. Agropec*. 2018; 5(14):247-257. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1447>
31. Lata N, Dubey V. *Eichhornia crassipes* a suitable economic feed: the world's worst aquatic weed. *J Food Technol*. 2010; 8(3):102-105. <https://doi.org/10.3923/jftech.2010.102.105>
32. Sotolu AO, Sule SO. Digestibility and performance of water hyacinth meal in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*; Burchell, 1822). *Trop Subtrop Agroecosystems*. 2011; 14(2011):245-250. <https://www.revista.cba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/588>
33. Ibrahim WM, Eid AE, Mohamed K, Abdelfattah B. Effect of Replacement of Soybean Meal with Duckweed (*Lemna minor*) Meal on the Growth Performance and Feed Utilization in Nile Tilapia Fingerlings. *JAPFP*. 2017; 6(1):7-12. [https://journals.ekb.eg/article\\_7415\\_67ee66247e149553f8bd189d73e01d9a.pdf](https://journals.ekb.eg/article_7415_67ee66247e149553f8bd189d73e01d9a.pdf)
34. Méndez-Martínez Y, Vera-Veliz AR, Cortés-Jacinto E, Cruz-Quintana Y, Botello-León A, Mendoza-Carranza PD, Calvo NS. Growth Performance, Feed Utilisation, Digestive and Metabolic Enzyme Activity, and Liver Morphohistology in Hybrid Tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis niloticus*) Juveniles Fed with the Inclusion of Chitosan in Their Diet. *Fishes*. 2023; 8(11):1-14. <https://doi.org/10.3390/fishes8110546>