

EFFECTO DE LA BIOCONVERSIÓN DE SEMILLAS DE JACA (*Artocarpus heterophyllus*) EN DIGESTIBILIDAD Y RENDIMIENTO PRODUCTIVO EN DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

EFFECT OF THE BIOCONVERSION OF JACKFRUIT SEEDS (*Artocarpus heterophyllus*) IN DIGESTIBILITY AND PRODUCTIVE PERFORMANCE IN DIETS FOR TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

Francisco Valdez-González^{*1,2}, Iram Zavala-Leal^{1,2}, Damián Cordero-Ramírez³, Breidy Cuevas-Rodríguez^{1,2} y Jorge Soto-Alcalá³

¹Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit.

²Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias y Pesqueras - Universidad Autónoma de Nayarit.

Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave. Departamento de ³Ciencias Naturales y Exactas.

Recibido: 02 de junio de 2021

Aceptado: 28 de junio de 2021

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de la bioconversión de semillas de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) sobre digestibilidad de materia seca y proteína, así como el rendimiento productivo en tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*. Para el bioensayo de digestibilidad se emplearon organismos con un peso promedio de 23 ± 2.3 g. La evaluación del coeficiente de digestibilidad *in vivo* se determinó por el método indirecto del óxido de cromo como marcador. Para el bioensayo de rendimiento productivo se elaboró una dieta control, una dieta que contenía harina con semilla de jaca integral (HSJ), otra con harina con semilla descascarillada de jaca (HSJD) y una con semillas de jaca bioconvertidas (HSJB). Se utilizaron tanques de (500 L), cada tratamiento fue probado por triplicado, con organismos con peso promedio de (1.5 ± 0.25) g. Los

resultados obtenidos en el presente trabajo con harinas de semillas de jaca descascarilladas y bioconvertidas, se relacionan con el incremento proteínico, la disminución de fibra y una mejor digestibilidad de materia seca y proteínica. La bioconversión es un proceso de bajo costo que incrementa el aprovechamiento nutricional de las semillas de jaca, mejorando el desempeño productivo en tilapia. Este proceso permitió elaborar dietas con mejor contenido proteínico, más digestibles y con una disminución significativa de fibra, lo que ayudó a obtener un aumento en ganancia en peso. Es por ello que, las harinas de semillas de jaca bioconvertidas representan una potencial alternativa, de bajo costo y con alta disponibilidad, para reemplazar a la harina de pescado en la elaboración de alimento para tilapia *Oreochromis niloticus*, esto permitirá un ahorro considerable en los piscicultores.

Palabras clave: Semilla de jaca, bioconversión, descascarillado, digestibilidad, rendimiento productivo.

ABSTRACT

In the present study, the effect of the bioconversion of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus*) on dry matter and protein digestibility and the productive performance in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* was evaluated. Organisms with an average weight of 23 ± 2.3 g were used for the digestibility bioassay. The evaluation of the digestibility coefficient *in vivo* was determined by the indirect method of chromium oxide as a marker. For the productive performance study, a control diet was prepared, a diet containing flour with whole jackfruit seed (HSJ), another with flour with dehulled jackfruit seed (HSJD) and one with bioconverted jackfruit seeds (HSJB). Tanks of (500 L) were used, each treatment was tested in triplicate, with organisms with an average weight of (1.5 ± 0.25) g. The results obtained in the present work with dehulled and bioconverted jackfruit seed flours are related to an increase in a

decrease in fiber and a better digestibility of dry matter and protein. Bioconversion is a low-cost process that increases the nutritional use of jackfruit seeds, improving the productive performance of tilapia. This process made it possible to elaborate diets with better protein content, more digestible and with a significant decrease in fiber, which helped to obtain an increase in weight gain. Bioconversion jackfruit seed meals represent a potential alternative, low cost and with high availability, to replace fish meal in the production of food for tilapia *Oreochromis niloticus*, this will allow considerable savings in fish farmers.

Keywords: Jackfruit seed, bioconversion, dehulled, digestibility, productive performance.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el sector productivo de alimentos de origen animal que presenta mayor crecimiento en comparación con otros sectores, en 2018 la producción global acuícola se estimó en 114.5 millones de toneladas, equivalente a 263,600 millones de dólares (FAO, 2020).

Tradicionalmente, la harina de pescado ha sido la principal fuente de proteína empleada en la elaboración de alimentos para organismos acuícolas, por lo cual se convierte en la materia prima más costosa (Bowzer *et al.*, 2015). Además, su disponibilidad es limitada e impredecible (Liu *et al.*, 2011). Por esas razones y con el fin de reducir los costos de producción, se han realizado numerosas investigaciones donde se utilizan fuentes proteínicas de origen vegetal para sustituir parcial o totalmente a la harina de pescado (Valdez-González *et al.*, 2018).

Se ha demostrado que la harina de pescado puede ser sustituida en diferentes porcentajes dependiendo de la fuente de origen vegetal, tomando en consideración principalmente el contenido proteínico, la digestibilidad y el balance aminoacídico (Drew *et al.*, 2007).

Una limitante en el uso de fuentes vegetales

para peces es la presencia de antinutrientes (Valdez-González *et al.*, 2017). El efecto de los factores antinutricionales de vegetales ha sido menos estudiado en peces que en los vertebrados superiores (Guillaume *et al.*, 2004).

No obstante, existen diferentes procesos que pueden mejorar el aprovechamiento nutrimental de fuentes vegetales, entre los que se encuentran: el descascarillado y la bioconversión (Valdez-González *et al.*, 2018).

El descascarillado es un proceso que consiste en remover la cascarilla presente en granos y semillas, con este método se logra reducir el contenido de fibra cruda y taninos, además mejora la apariencia, la textura, la calidad de cocción del grano e incrementa el contenido marginal proteínico (Nikmaram *et al.*, 2017). Este proceso ha sido utilizado como pre-tratamiento para mejorar el valor nutrimental de fuentes vegetales, logrando mayor palatabilidad y el incremento de coeficientes de digestibilidad proteínica y de materia seca en dietas para peces (Valdez-González *et al.*, 2017).

Otra alternativa es la bioconversión ya que es un bioproceso tecnológico de bajo costo de operación, alta calidad en los productos con una mínima degradación de nutrientes, y una mejora importante en la digestibilidad y valor biológico de las proteínas (Cuevas-Rodríguez *et al.*, 2004). También, inducen cambios favorables en las fuentes vegetales tales como la reducción de la actividad de inhibidores enzimáticos, como los fitatos y los taninos (Reyes-Moreno *et al.*, 2004).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la bioconversión de semillas de jaca sobre composición química, digestibilidad aparente de materia seca (DAMSI) y de proteína (DAPI) utilizando el método de óxido crómico, así como la evaluación del rendimiento productivo en tilapia nilótica *Oreochromis niloticus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de materias primas

Lotes de semillas de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) fueron deshidratadas en horno a 40°C por 18 horas. Después del secado se dividieron en 3 tratamientos, harinas de semillas de jaca integrales (HSJ), semillas de jaca descascarilladas (HSJD) y harinas de semillas de jaca bioconvertidas (HSJB).

Las harinas integrales se obtuvieron mediante la fragmentación y pulverización de semillas, en un molino eléctrico para granos (1 Hp marca del Rey, Modelo 18-58) y tamizadas a tamaño de partícula de 250 µm, posteriormente se almacenaron en bolsas ziploc a 4°C, hasta su uso.

El descascarillado se realizó por lotes de 500 g de semillas de jaca, se utilizó un molino eléctrico de granos con un motor de 0.5 HP para partir la semilla en cuatro fragmentos. Debido al proceso de molienda, la cascarilla fue separada de los cotiledones fragmentados, para posteriormente ser eliminada con una corriente de aire aplicada a los fragmentos con un abanico doméstico. El pulverizado de las semillas se realizó en (Molino Tecator, mod 1083, Suecia) hasta obtener harinas que atravesaron malla 80 (0.180 mm).

La obtención de harinas por bioconversión se

realizó siguiendo la metodología de (Valdez-González *et al.*, 2017), se logró mediante el remojo de semillas enteras por 16 h en una solución de ácido acético glacial a 0.4% (pH 3.1), se drenaron y se descascarillaron manualmente. Los cotiledones se sometieron a cocción en agua destilada a 90°C por 30 min y posteriormente se enfriaron a 25 °C por 4 h. Para llevar a cabo la bioconversión se inoculó el sustrato con una suspensión de *Rhizopus oligosporus* NRRL 2710 (1 X 10⁶ esporas/mL) en bolsas de polietileno de 15 X 25 cm con pequeñas perforaciones hechas a aproximadamente 3 cm de distancia. Los lotes se colocaron en una incubadora (Riossa, mod EC-33, México) y se fermentaron utilizando una temperatura de 34.9 °C y tiempo de bioconversión de 51 h. Posteriormente, las muestras se secaron en una estufa con circulación de aire forzado (50 °C/24 h).

Elaboración de las dietas

Se utilizó una dieta de referencia y 3 dietas experimentales en las cuales se reemplazó el 30% de la dieta referencia por cada uno de los tratamientos evaluados [HSJ]= harina de semilla de jaca integral, HSJD= harina de semilla de jaca descascarillada, HSJB= harina de semilla de jaca bioconvertida (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición (g/kg) de dieta referencia y dietas experimentales

Ingrediente	Dieta referencia	Ingredientes probados
Harina de pescado	403	
Harina de trigo	436	
Aceite de pescado	20	
Lecitina de soya	20	
Almidón	60	
Grenetina	40	
Minerales ¹	1	
Vitaminas ²	10	
Óxido de cromo	10	
Dieta referencia		700
Dieta experimental		300
Total	1000	1000

¹Mezcla de minerales (g kg⁻¹ dieta): KCl (0.5); MgSO₄•7H₂O (0.5); ZnSO₄•7H₂O (0.09); MnCl₂•4H₂O (0.00234); CuSO₄•5H₂O (0.005); KI (0.005); CoCl₂•2H₂O (0.00025); Na₂HPO₄ (2.37).

Los ingredientes fueron molidos hasta pasar una malla # 40 (0.425 mm). Posteriormente, se mezclaron los ingredientes y se homogeneizaron. Se le adicionó 1 % de óxido de cromo como marcador inerte para determinar la digestibilidad del alimento; el alimento fue elaborado en un molino de carne marca Torrey® México (Monterrey, México).

Diseño experimental del bioensayo de digestibilidad

Los bioensayos consistieron en un sistema de 12 unidades experimentales de 270 L, a una densidad de siembra de 10 organismos/unidad experimental, por triplicado. Los peces tuvieron un peso promedio de 23 ± 2.3 g. Cada unidad experimental contó con aireación continua, manteniendo el nivel de oxígeno en 7.12 ± 0.3 mg/L y una temperatura del agua de 27 ± 2 °C. La alimentación fue a saciedad, alimentando dos veces al día (09:00 y 15:00 horas). Dos horas después de cada alimentación se recolectaron las heces con una pipeta Pasteur de plástico. Las heces se lavaron con agua destilada y colocadas a -40 °C. Posteriormente las heces fueron liofilizadas. Las heces liofilizadas, así como las dietas experimentales se analizaron para determinar el contenido de óxido crómico y proteínas.

El porcentaje de digestibilidad aparente de materia seca y de proteína fueron calculados mediante las ecuaciones de Maynard *et al.* (1981):
(1) DAMSI = $[(100 \times \% \text{DAMS de DP}) - ((100 - \% \text{IP}) \times \% \text{DAMS de DR})] / (\% \text{IP})$
(2) DAPI = $[(100 \times \% \text{DAP de DP} \times \% \text{CP en DP}) - ((100 - \% \text{TI}) \times \text{DAMS de DR} \times \% \text{CP en DR})] / (\% \text{IP} \times \% \text{CP en IP})$

Dónde: DAMSI: digestibilidad aparente de materia seca del ingrediente, DAMS de DP: digestibilidad aparente de materia seca de la dieta probada, IP: ingrediente probado, DAMS de DR: digestibilidad aparente de materia seca de la dieta de referencia. DAPI: digestibilidad aparente de proteína del ingrediente, DAP de DP: digestibilidad aparente de proteína de la dieta probada, CP en DP: concentración de proteína en

la dieta probada, IP: ingrediente probado, DAP de DR: digestibilidad aparente de proteína de la dieta de Referencia, CP en DR: concentración de proteína en la dieta de referencia, CP en IP: concentración de proteína en el ingrediente probado.

Bioensayo de rendimiento productivo

Se prepararon cuatro dietas a 35% de proteína y 10% de lípidos, una dieta control a base de harina de pescado y tres tratamientos experimentales: harinas de semillas de jaca integral (HSJ), harina de semillas de jaca descascarilladas (HSJD) y harina de semillas de jaca bioconvertidas (HSJB). Los ingredientes fueron molidos hasta pasar una malla # 40 (0.425 mm). Posteriormente, se mezclaron los ingredientes y se homogeneizaron. El alimento fue elaborado en un molino de carne marca Torrey® México (Monterrey, México).

Durante el bioensayo de rendimiento productivo, se utilizaron unidades experimentales con capacidad de 500 L. Se utilizaron 3 réplicas por tratamiento y peso inicial de 1.5 ± 0.25 g. Cada unidad experimental mantuvo aireación continua, con el nivel de oxígeno en 6.9 ± 1.5 mg/L y la temperatura en 27 ± 1 °C. Se realizaron biometrías cada 10 días para determinar el peso en gramos de todos los organismos de cada unidad. Al inicio del bioensayo de crecimiento los organismos se alimentaron a razón de 6 % de la biomasa total. Posteriormente, de acuerdo a la biomasa calculada para cada una de las unidades experimentales de los tratamientos, en cada una de las biometrías de los organismos se proporcionaron las raciones alimenticias por tina para los diferentes tratamientos. La alimentación se realizó tres veces al día manualmente. Al final del bioensayo se determinaron las variables productivas de tasa de crecimiento diario (TCD) $TCD = \frac{M_f - M_i}{t}$, factor de conversión alimenticia (FCA) $FCA = \frac{\text{Alimento consumido (kg)}}{\text{incremento de peso (kg)}}$, supervivencia (S).

Análisis químicos

Los análisis químicos de los ingredientes, dietas y heces se realizaron siguiendo la ..

metodología descrita por AOAC (1995). Para determinar proteína se utilizó el método microKjeldahl, la determinación de nitrógeno se realizó en un sistema Kjeltex (Mod 1009 y 1002, Tecator, Suecia). Para la determinación de lípidos se empleó sistema Soxtec (Mod 1043, Tecator, Suecia) de extracción con éter de petróleo. La fibra

se determinó mediante el secado y calcinación de la muestra después de la extracción con 0.5 M de H_2SO_4 y 0.5 M de NaOH. El contenido de cenizas se determinó mediante calcinación de la muestra en (horno Mufla Thermolyne 6000) a 600 °C por cinco horas y el contenido de energía se determinó mediante un calorímetro adiabático (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición química proximal de dietas (referencia y experimentales) para tilapia *O. niloticus* a base de semillas de jaca *A. heterophyllus* en bioensayo de digestibilidad.

Nutrientos	DR	HSJ	HSJD	HSJB
Proteína	35.4±0.06	30.1±0.4	30.4±0.4	30.4±0.4
Lípidos	10.1±0.04	7.2±0.2	7.3±0.3	7.1±0.3
Cenizas	10.05±0.03	8.8±0.3	8.7±0.2	7.9±0.2
Fibra	1.4±0.01	2.7±0.08	1.1±0.05	1.65±0.05
ELN	36.9	46.8	45.4	48.4
Energía	4.057	3.900	3.970	4.008

DR: Dieta referencia a base de harina de pescado, HSJ: Harina de semillas de jaca, HSJD: Harina de semillas de jaca descascarillada, HSJB: Harina de semillas de jaca bioconvertidas, ELN: Extracto libre de nitrógeno.

Análisis estadísticos

Los valores obtenidos se analizaron con una prueba de normalidad y homogeneidad. Para determinar si los datos obtenidos eran significativamente diferentes, se utilizó el software computacional STATISTICA 7.0 (StatSoft, Tulsa, OK), los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de una vía (ANDEVA, $\alpha < 0.05$), posteriormente se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey, para clasificar los tratamientos.

RESULTADOS

En el cuadro 3 se muestra la composición química de las semillas de jaca con diferentes procesos. El proceso de bioconversión afectó significativamente ($P < 0.05$) la composición química de las semillas de jaca; así como también

el descascarillado afectó significativamente ($P > 0.05$) dicha composición nutricional.

El nivel proteínico encontrado en HSJB es significativamente superior mostrando 18.90 ± 0.4 % contra 17.6 ± 0.4 % en HSJ. Así como los valores de cenizas y fibra en las que disminuyeron de 6.1 ± 0.3 a 3.2 ± 0.2 % y 5.87 ± 0.08 a 2.25 ± 0.05 % respectivamente para la HSJB en contraste con la HSJ.

El proceso de bioconversión influyó significativamente ($P < 0.05$) en la digestibilidad del ingrediente (Cuadro 4). Los valores promedio de la digestibilidad del ingrediente (DAMSI) en dietas con semilla de jaca integral fueron 66.24 % y 74.92 % en las dietas con semillas de jaca bioconvertidas, lo que significa un incremento del 8.68 % provocado por el proceso de bioconversión

Cuadro 3. Composición química proximal (g 100g⁻¹) de ingredientes usados en dietas para tilapia *Oreochromis niloticus*

Nutrientos	HP	HSJ	HSJD	HSJB
Proteína	65.5±0.06	17.6±0.4 ^b	18.77±0.4 ^a	18.90±0.4 ^a
Lípidos	12.17±0.04	0.4±0.02 ^b	0.53±0.3 ^a	0.25±0.03 ^c
Cenizas	16.73±0.03	6.1±0.3 ^a	2.4±0.2 ^a	3.2±0.2 ^b
Fibra	0.03±0.01	5.87±0.08 ^c	0.45±0.05 ^a	2.25±0.05 ^b
ELN	5.57	70.03 ^a	77.85 ^c	75.4 ^b

HP: Harina de pescado, HSJ: Harina de semillas de jaca, HSJD: Harina de semillas de jaca descascarillada HSJB: Harina de semillas de jaca bioconvertidas, ELN: Extracto libre de nitrógeno.

Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de materia seca y proteínica del ingrediente, en dietas para tilapia *O. niloticus*

DIETAS	DAMSI	DAPI
	Porcentaje %	
HSJ	66.24 ±2.42 ^c	77.81 ±1.50 ^c
HSJD	70.28 ±1.27 ^b	83.42 ±2.54 ^b
HSJB	74.92 ±2.72 ^a	87.24 ±2.45 ^a

DAMSI: Coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca, DAPI: Coeficientes de digestibilidad aparente proteínica del ingrediente, HSJ: Harina de semillas de jaca integral, HSJD: Harina de semillas de jaca descascarillada, HSJB: Harinas de semilla de jaca bioconvertidas. Los valores son presentados como media ± desviación estándar, n = 3. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (p<0.05), basados en la prueba Tukey.

El proceso de bioconversión mostró diferencias significativas (P <0.05) en digestibilidad proteínica (Cuadro 4). Los valores de digestibilidad proteínica (DAPI) en las dietas con semillas de jaca integral promedió 77.81 % y 87.24 % en las dietas con semillas de jaca bioconvertidas, con un incremento de 9.43 % causado por la bioconversión.

Los mejores resultados (p<0.05) en PG, TCD y

FCA se obtuvieron en peces alimentados con la dieta control sin presentar diferencias significativas (p>0.05) con la dieta HSJB (Cuadro 5). No obstante, en la dieta HSJ se observa una disminución del desempeño productivo. De lo anterior, se tiene que las diferencias obtenidas en las tasas de crecimiento TCD, PG, PF y FCA para tilapia nilótica fueron estadísticamente significativas

($p < 0.05$), directamente influenciada por la ausencia del proceso de bioconversión en la dieta HSJ (Cuadro 5). Los resultados de supervivencia de tilapias durante la fase de crecimiento no presen-

taron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, la cual correspondió a un porcentaje superior a 96 %.

Cuadro 5. Bioensayo de rendimiento productivo, supervivencia, peso ganado, peso final, crecimiento diario y conversión alimenticia de *O. niloticus* alimentadas con las dietas experimentales a base de semillas de jaca (*A. heterophyllum*).

	DIETAS			
	Control	HSJ	HSJD	HSJB
PF (g)	74.96 ± 4.57 ^a	63.89 ± 8.68 ^c	66.98 ± 5.86 ^b	73.21 ± 2.57 ^a
PG	64.5 ± 4.6 ^a	53.7 ± 8.3 ^c	57.3 ± 5.3 ^b	63.6 ± 2.3 ^a
TCD (%)	1.43 ± 0.1 ^a	1.19 ± 0.4 ^c	1.27 ± 0.3 ^b	1.40 ± 0.5 ^a
FCA	1.55 ± 0.4 ^a	1.65 ± 0.3 ^c	1.60 ± 0.2 ^b	1.56 ± 0.3 ^a
Supervivencia (%)	97.7	96.3	96.5	96.7

PF: Peso final, PG: Peso ganado, TCD: Tasa de crecimiento diario, FCA: Factor de conversión alimenticia. Los valores son presentados como media ± desviación estándar, $n = 3$. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$), basados en la prueba Tukey.

En este estudio, se evaluó por primera vez los efectos nutrimentales de harinas de semilla de jaca bioconvertida en dietas para tilapia nilótica. Los datos obtenidos muestran que las dietas a base de harina de pescado pueden ser sustituidos parcialmente por harinas de semilla de jaca bioconvertida (HSJB) sin presentar diferencias significativas en tasa de crecimiento y factor de conversión alimenticia. También se observó que las dietas fueron aceptadas con niveles de consumo de alimento similar entre ellas; demostrando con ello que la inclusión de HSJ en los porcentajes probados en este experimento no afectó la palatabilidad del alimento.

DISCUSIÓN

La eliminación de la testa de la semilla de jaca permitió reducir el contenido de ceniza y fibra principalmente, como consecuencia de la cascarilla que contiene ciertos minerales (calcio, fósforo,

magnesio, hierro, potasio) y una alta concentración de fibra (Valdez-González *et al.*, 2017). El aumento en el contenido de proteína y lípidos en los granos sin cascarilla puede ser un efecto de la concentración, teniendo en cuenta la pérdida de otros componentes tales como ceniza y fibra. El incremento de la proteína durante el proceso de bioconversión se relaciona con la síntesis de la proteína causada por la proliferación y aumento de la biomasa de *R. oligosporus* (Valdez-González., 2018).

Diversos reportes mencionan que los niveles de fibra inferiores a 3 % mejoran la digestibilidad proteínica en tilapia nilótica (Lanna *et al.*, 2004). En este estudio, el proceso de descascarillado permitió reducir los niveles de fibra por debajo de ese nivel, lo que pudo influir en un incremento en la digestibilidad proteínica de los ingredientes.

Diversos autores mencionan que existen varios factores que afectan el crecimiento de la tilapia nilótica, como son: los requerimientos proteínicos, la tasa de alimentación y la temperatura del agua, entre otros (Akinleye *et al.*, 2012). Toledo y Llanes (2011) mencionan que cuando de requerimientos proteínicos se trata, es necesario considerar la calidad de las proteínas, el contenido de energía y la digestibilidad de los ingredientes, por lo que al incluir una mezcla de cereal/leguminosa en las raciones para tilapia, se garantiza que puedan contar con una cantidad importante de proteína de alto valor biológico, que se traduce en una adecuada disponibilidad de aminoácidos esenciales, ácidos grasos y alta digestibilidad de la proteína (Vidotti *et al.*, 2003).

La digestibilidad es un parámetro indicativo de la cantidad de materia seca y proteína que son digeridas y absorbidas por los organismos, por lo tanto, es muy importante utilizar ingredientes altamente digeribles en la alimentación de especies acuáticas cultivables (Díaz-Vázquez *et al.*, 2019). El presente estudio mostró que las dietas a base de semillas de jaca descascarilladas fueron digeridas por la tilapia nilótica, debido a la calidad de las proteínas.

Además, la eliminación de la cascarilla pueden estar relacionados tanto a una reducción de los polisacáridos estructurales, así como la probable reducción de los antinutrientes endógenos de la cascarilla (Valdez-González *et al.*, 2018).

El alto porcentaje de supervivencia (96.3 %) manifestados en cada una de las dietas experimentales indica que la tilapia nilótica tolera muy bien la HSJ. En contraste, con otros estudios al utilizar fuentes vegetales reportan bajas tasas de supervivencia en especies de tilapia y toxicidad en animales monogástricos (Mbahinzireki *et al.*, 2001).

La tasa de crecimiento y la ganancia de peso son dos indicadores confiables que permiten evaluar el grado de adecuación nutrimental de las dietas (Bureau *et al.*, 2002). En este sentido, el presente

estudio muestra una reducción significativa en peso ganado, tasa de crecimiento y factor de conversión alimenticia en peces alimentados con dietas de HSJ. Estudios similares, reportan que al aumentar los niveles de inclusión disminuye el crecimiento y el peso ganado (Jiang *et al.*, 2018).

Algunas de las posibles razones que pueda explicar el bajo crecimiento de peces alimentados con HSJ es la deficiencia de aminoácidos que es una característica generalizada en la mayoría de proteínas vegetales tal como lo menciona Bahadur *et al.* (2010). La suplementación adicional de dietas con algunos aminoácidos puede mejorar el desempeño productivo de la especie. Pezzato *et al.* (2004) observaron respuestas similares con tilapia nilótica cuando el nivel de inclusión de harina de soya fue de 60 %. La presencia de factores antinutricionales es otra característica que comparten las fuentes vegetales y afectan el crecimiento de peces Mbahinzireki *et al.* (2001) y Sklan *et al.* (2004), reportaron que los altos niveles de ácido fítico en la dieta causan disminución en crecimiento, eficiencia alimenticia, disponibilidad de proteína y Zn así como la disminución del funcionamiento de la tiroides en trucha arcoíris y salmón. El incremento de proteína durante el proceso de bioconversión de semillas de jaca común está relacionado con la síntesis de proteína provocada por la proliferación de *Rhizopus oligosporus* y el incremento en la biomasa, que permite una mejora de la calidad proteínica (Sánchez-Magaña *et al.*, 2014), lo cual permitió una mayor digestibilidad y ganancia en peso en tilapia nilótica.

Por lo tanto, al formular las dietas se debe considerar la composición química de los ingredientes, los impactos del procesamiento y los valores de digestibilidad. Si la dieta elaborada contiene alto valor nutrimental que satisfacen los requerimientos de los organismos acuáticos, la suplementación de ingredientes adicionales no es necesario (Li *et al.*, 2016).

La combinación del proceso de bioconversión y descascarillado, permitió elaborar dietas con mejor calidad nutrimental, lo que ayudó a obtener

REFERENCIAS

- Akinleye AO, Kumar V, Makkar HPS, Angulo-Escalante MA y Becker K. (2012). *Jatropha platyphylla* kernel meal as feed ingredient for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): growth, nutrient utilization and blood parameters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 96, 119-129.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). *Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International*, 16th edn. AOAC, Arlington, VA.
- Bahadur, V., Haldar, S., y Ghosh, T. K. (2010). Assesment of the efficacy of L-lysine sulfate vis-a-vis L-lysine hydrochloride as sources of supplemental lysine in broiler chickens. *Veterinary Medicine International*, 964076.
- Bowzer, J., Trushenski, J., Rawles, S., Gaylord, T. G., and F. T. Barrows. (2015). Apparent digestibility of Asian carp-and common carp-derived fish meal in feeds for hybrid striped bass *Morone saxatilis* X *M. chrysops* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition*, 21: 43-53.
- Bureau, D. P., Kaushik, S. J., y Cho, C. Y. (2002). Bioenergetics. En D. P. Bureau, *Fish Nutrition. Third Edition* (págs. 1-59). USA: Elsevier Science.
- Cuevas-Rodríguez. E. O., Millán, C. J., Mora, E. R., Cárdenas, V. O. G. y Reyes, M. C. (2004). Quality protein maize (*Zea mays* L) tempeh flour though solid state fermentation process. *Lebensm Wiss und-Technology*, 37, 59-67.
- Díaz-Vázquez I, Zavala-Leal I, Pacheco-Vega J, Cuevas-Rodríguez B, Ruiz-Velazco M, Gutiérrez-Dorado R, Cordero-Ramírez D, Valdez-González F*. The Effect of Dehulling and Extrusion of Jackfruit *Artocarpus heterophyllus* Seeds on Digestibility and Antinutrients, in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Diets. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh, IJA_71.2019.1618*, 9.
- Drew, M.D., Borgeson, T.L. and Thiessen, D.L. (2007). A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology*, 138, 118-136.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P. y R. Metailler. (2004). *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, pp. 353-365.
- Jiang, H. B., Chen, L. Q., y Qin, J. G. (2018). Fishmeal replacement by soybean, rapeseed and cottonseed meals in hybrid sturgeon *Acipenser baerii* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂. *Aquaculture Nutrition*, 1-9.
- Lanna E.A., Pezzato, L.U., Furuya, W.M., Vicentini, C.A., Cecon, P.R. and Barros M.M. (2004). Fibra Bruta e Óleo em Dietas Práticas para Alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista brasileira de zoología*, 33, 2177-2185.
- Li, X. Q., Chai, X. Q., Liu, D. Y., Kabir Chowdhury, M. A., y Leng, X. J. (2016). Effects of temperature and feed processing on protease activity and dietary protease on growths of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, and tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture Nutrition*, 22, 1283-1292.
- Liu, L. W., Su, J. M., Zhang, T., Liang, X. F., and Y. L. Luo. (2011). Apparent digestibility of nutrients in Grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diet supplement with graded levels of neutral phytase using pretreatment and spraying methods. *Aquaculture Nutrition*, 19: 91-99.
- Maynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., and R. G. Warner. (1981). *Animal nutrition* McGraw-Hill Book Company. New York. NY., USA. pág. 289.
- Mbahinzireki, G. B., Dabrowski, K., Lee, K. J., El-Saidy, D., y Wisner, E. R. (2001). Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis* sp.) fed with cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition*, 7, 189-200.
- Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa M, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., y otros. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, 79, 62-63.

- Pezzato, L. E., de Oliveira, A. C., Dias, E., Barros, M. M., y Pezzato, A. C. (2004). ,DiasE.,BarrosM.M. y PezzatoA.C.Weight gain and anatomopathological disturbs on Nile tilapia fed with cocoa meal. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 31, 375-378.
- Reyes-Moreno, C., Cuevas-Rodríguez, E.O., Milán-Carrillo, J., Cárdenas-Valenzuela, O.G. & Barrón-Hoyos, J. (2004) Solid state fermentation process for producing chickpea (*Cicer arietinum*) tempe flour. *J. Sci. F. Agric.*, 84, 271-278.
- Sánchez-Magaña LM, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez-Dorado R, Ayala-Rodríguez AE, Valdez-Ortiz A, Milán-Carrillo J and Reyes-Moreno C, Solid-state bioconversion of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by *Rhizopus oligosporus* to improve total phenolic content, antioxidant activity and hypoglycemic functionality. *Int J Food Sci* 65: 558-564 (2014).
- Sklan, D., Prag, T., y Lupatsch, I. (2004). Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis aureus* (Telpetei Cichlidae). *Aquaculture Research*, 35, 368-364.
- Toledo J y Llanes J. (2011). Desempeño productivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con la inclusión de altos niveles de harina de soya en la dieta. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45 (2).
- Valdez-González, F. J., Gutiérrez-Dorado, R., García-Ulloa, M., Cuevas-Rodríguez, B. L., and H. Rodríguez-González. (2018). Effect of fermented, hardened, and dehulled of chickpea (*Cicer arietinum*) meals in digestibility and antinutrients in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Spanish Journal of Agricultural Research.*, (1), e0605.
- Valdez-González, F., Gutiérrez-Dorado, R., Hernández-Llamas, A., García-Ulloa, M., Sánchez-Magaña, L., Cuevas-Rodríguez, B. and Rodríguez-González. (2017). Bioprocessing of common beans in diets for tilapia: in vivo digestibility and antinutritional factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12): 4087-4093.
- Vidotti RM, Viegas EMM, Carneiro DJ. (2003). Aminoacid composition of processed fish silage using different raw materials. *Animal Feed Science and Technology*. 105, 199-204.
- Yuan, Y.C., Lin, Y.C., Yang, H.J., Gong, S.Y. and Yu, D.H. (2013). Evaluation of fermented soybean meal in the practical diets for juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*. *Aquaculture. Nutrition.*, 19, 74-83.

