

EFFECTO DEL PROCESAMIENTO TECNOLÓGICO DE SEMILLAS DE MEZQUITE (*Prosopis laevigata*) Y LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*) EN COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL, FACTORES ANTINUTRICIONALES Y DIGESTIBILIDAD EN DIETAS PARA TILAPIA, *Oreochromis niloticus*.

EFFECT OF TECHNOLOGICAL PROCESSING OF MESQUITE (*Prosopis laevigata*) AND LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*) SEEDS ON PROXIMAL CHEMICAL COMPOSITION ANTINUTRITIONAL FACTORS AND DIGESTIBILITY IN DIETS FOR TILAPIA (*Oreochromis niloticus*).

Silva-Mendes, Dayse Glória^a, Cuevas-Rodríguez, Breidy Lizeth^{ab}; Zavala-Leal, Oscar Iram^{ab}; Cordeiro-Ramírez, Jesús Damián; Valdez-González, Francisco Javier^{ab*}

^aMaestría en Ciencias Biológico Agropecuarias - Universidad Autónoma de Nayarit. ^bEscuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit. ^cUniversidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave. Departamento de Ciencias Naturales y Exactas

Recibido: marzo 10 de 2023

Aprobado: abril 25 de 2023

DOI: <https://doi.org/10.60113/ap.v9i17.9>

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de la extrusión en semillas de mezquite (*Prosopis laevigata*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) sobre el análisis de composición proximal, factores antinutricionales y digestibilidad *in vivo* en dietas para juveniles de tilapia, *Oreochromis niloticus*. Para el análisis proximal el proceso de extrusión no afectó significativamente ($P>0.05$) el contenido de proteína, cenizas y fibra de las harinas de mezquite y leucaena. Entretanto, en los factores antinutricionales se presentaron una reducción significativa en los in-

hibidores de tripsina tanto en mezquite (de 4.04 a 0.35 UTI/g) como en leucaena (de 0.90 a 0 UTI/g). Cuatro dietas isoproteínicas e isolipídicas se formularon: Harina de Mezquite Extrudida (HME), Harina de Mezquite Natural (HMN), Harina de Leucaena Extrudida (HLE) y Harina de Leucaena Natural (HLN), con 35% de proteína cruda y 10% de lípidos, para sustituir en un 30 % a la dieta referencia. Se utilizaron tanques de 200 L, cada tratamiento fue probado por triplicado, se emplearon 30 organismos con peso promedio de 20 ± 3 g durante 30 días. La evaluación del coeficiente de digestibilidad *in vivo* de materia seca y proteína de las semillas se determinó por el método indirecto del óxido crómico como marcador. Los resultados de digestibilidad mostraron diferencias significativas ($P<0.05$), con incremento de proteína en 20% en las semillas de mezquite (73 % a 92%) y 6% en las semillas de leucaena (84% a 90%). La sustitución en 30% de la dieta referencia por HME y HLE podría reemplazar la proteína animal sin afectar la digestibilidad. Además, las dietas con fuentes vegetales pueden ser tan digeribles como las dietas tradicionales a base harina de pescado y con menor costo, esto permitiría incrementar la factibilidad económica del cultivo de tilapia al utilizar ingredientes más baratos y disponibles.

Palabras clave: Semilla de mesquite, semilla de leucaena, extrusión, digestibilidad, tilapia.

ABSTRACT

In the present study, the effect of extrusion in mesquite (*Prosopis laevigata*) and leucaena (*Leucaena leucocephala*) seeds on the analysis of proximal composition, antinutritional factors and *in vivo* digestibility in diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*, was evaluated. For the proximal analysis, the extrusion process did not affect significantly ($P>0.05$) the protein, ash and fiber content of the mesquite and leucaena flours. Meanwhile, in antinutritional factors, there was a

significant reduction in trypsin inhibitors both in mesquite (from 4.04 to 0.35 UTI/g) and in leucaena (from 0.90 to 0 UTI/g). Four isoprotein and isolipid diets were formulated: Extruded Mesquite Flour (EMF), Natural Mesquite Flour (NMF), Extruded Leucaena Flour (ELF) and Natural Leucaena Flour (NLF), with 35% crude protein and 10% protein lipids, to substitute 30% of the reference diet. Tanks of 200 L were used, each treatment was tested in triplicate, 30 organisms with an average weight of 20 ± 3 g were used for 30 days. The evaluation of the in vivo digestibility coefficient of dry matter and seed protein was determined by the indirect method of chromic oxide as a marker. Digestibility results showed significant differences ($P < 0.05$), with a protein increase of 20% in mesquite seeds (73% to 92%) and 6% in leucaena seeds (84% to 90%). Substitution of 30% of the reference diet for EMF and ELF could replace animal protein without affecting digestibility. In addition, plant-based diets can be as digestible as traditional fishmeal-based diets and at a lower cost, which would increase the economic feasibility of tilapia farming by using cheaper and more available ingredients.

Keywords: Mesquite seed, leucaena seed, extrusion, digestibility, tilapia.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad de gran importancia económica a nivel mundial, con tasa de crecimiento de 3.1%, siendo superior a otros sectores como carne y leche, con consumo per capita de pescado de 20.5 kg y producción de 82 millones de toneladas, equivalente a 250,000 millones de dólares en 2018, siendo la tilapia nilótica la tercera especie más producida (FAO, 2020).

Sin embargo, el alto costo en la alimentación es uno de los mayores problemas de la acuicultura, debido a insumos como la harina de pescado, que constituyen de 50 % hasta 70 % de los costos de producción, de acuerdo con el tipo de sistema de cultivo (El-Sayed, 2014; Valdez-González *et al.*, 2017).

Esta problemática, impulsa a busca de materias

primas que permitan reemplazar a la harina de pescado por productos que tengan bajo costo, que sean altamente disponibles y que mantengan una composición nutrimental estable como las fuentes de proteínas vegetales (Rodríguez-González *et al.*, 2013).

De acuerdo con Vanderberg *et al.* (2012), para la composición de la ración de pescado con fuentes de proteína vegetal, se deben tomar precauciones con el nivel de inclusión, así como el adecuado procesamiento. La necesidad de tales recomendaciones se debe a la presencia factores limitantes como alto contenido de fibra cruda (Nwabueze, 2008) y factores antinutricionales como taninos, ácido fítico, inhibidores de proteasas, lectinas y saponinas (Rodríguez-González *et al.*, 2013).

Además, diversos autores mencionan que el consumo excesivo de proteína de fuentes vegetales en dietas para peces, podría causar tasas de crecimiento más lentas y baja productividad que puede resultar en la muerte, si esa condición persiste (El-Tawil *et al.*, 2020; Aroyehun *et al.*, 2021).

El-Tawil *et al.* (2020) obtuvieron resultados satisfactorios con leucaena en variables productivas para de alevines de *C. macropomum*. Carvalho *et al.* (2012) demostraron que las harinas de mezquite y torta de palmiste presentaron mejores crecimientos para tilapia del Nilo en comparación con otras harinas.

Bhatt *et al.* (2011) evaluaron la harina de semillas de mezquite (*Prosopis juliflora*) procesada hidrotérmicamente como dieta complementaria de Labeo rohita, y obtuvieron como resultado una harina rica en proteínas (330 g kg⁻¹), con factores antinutricionales dentro de los límites permisibles, con adecuados aminoácidos esenciales, excepto lisina, metionina y cisteína y niveles de inclusión de 25-35% en las dietas para mejores rendimientos productivos.

En este contexto, los estudios que involucran el uso de leguminosas como componentes de las dietas para pescado se han vuelto cada vez más comunes (Valdez-González, 2017; Valdez-González *et al.*, 2018a; Valdez-González *et al.*, 2018b;

Díaz-Vázquez *et al.*, 2019; El-Tawil *et al.*, 2020; Aroyehun *et al.*, 2021). Por lo tanto, el presente estudio fue evaluar los efectos de la extrusión de semillas de mezquite y leucaena sobre la composición química proximal, factores antinutricionales y digestibilidad in vivo en juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de semillas y procesamiento de extrusión

Las vainas semillas de mezquite y leucaena fueron obtenidas en las inmediaciones de los estados de Nayarit y Sinaloa, México. Las harinas se obtuvieron mediante fragmentación en molino eléctrico para granos (1 Hp marca del Rey, Modelo 15-58) y tamizadas a tamaños de partícula de 250 μm .

Las harinas se dividieron en 4 tratamientos, harina de mezquite extrudida (HME), harina de mezquite natural (HMN), harina de leucaena extrudida (HLE) y harina de leucaena natural (HLN), posteriormente se almacenaron en bolsas ziploc a 4°C, hasta su uso. Las harinas fueron extruidas de acuerdo con método de Milán-Carrillo *et al.* (2002), mediante extrusión en modelo 20DN (CW Brabender Instruments, Inc, NJ, EUA), de tornillo simple con diámetro de tornillo de 19 mm y longitud al diámetro 20:1. La temperatura inicial fue de 70 °C, siguiendo una temperatura de 90 °C y una temperatura final de 140 °C. La velocidad de alimentación fue de 40 revoluciones por minuto (rpm) y la velocidad de tornillo de 150 (rpm). Los productos obtenidos fueron secados, molidos, y pasaron por una malla de 0.180 mm para obtener las harinas de leucaena y mezquite extruidas.

Análisis químico proximal y factores antinutricionales

Después del En el análisis proximal de las semillas naturales y extruidas, fueron evaluados las variables humedad, proteína, extracto etéreo, ceniza,

fibra y extracto libre de nitrógeno, de acuerdo al método AOAC (1999). Los factores antinutricionales como ácido fítico, saponinas, taninos condensados e inhibidores de tripsina fueron evaluados los según las metodologías de Hiai *et al.* (1976) y AACC (2018).

Formulación y elaboración de las dietas

La dieta referencia se formuló mediante un software computacional (Excel) tomando en cuenta la composición química de los ingredientes a 35 % de proteína y 10 % de lípidos y las dietas experimentales se formularán sustituyendo en un 30 % a la dieta referencia (Cuadro1). Delante de los requerimientos nutricionales de la tilapia del Nilo según la National Research Council (1993) y la referencia la composición química de los ingredientes, se formularon las dietas experimentales.

Además, Todas las dietas contenían el 1 % de óxido de cromo usado como marcador inerte para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente.

Para la elaboración de las dietas se mezclaron los ingredientes y se homogeneizaron en una mezcladora marca (Hamilton Beach Electric TM), por cada kilogramo de alimento se le agregaron 100 g de agua. Posteriormente el alimento fue procesado en un molino de carne marca Torrey® a un diámetro de dado de 2 mm y se deshidrató en horno (MMM-GROUP, Modelo: MC-001816) a 37°C durante 16 horas. Después del secado, las dietas fueron fragmentadas a tamaños apropiadas para los organismos y se almacenaron a 4°C hasta su uso.

Diseño experimental del bioensayo de digestibilidad

Los bioensayos consistieron en uno sistema de 12 unidades experimentales de 200 L, a una densidad de siembra de 30 organismos/unidad experimental, por triplicado. Los peces tuvieron uno peso promedio de 20 ± 3 g. Cada unidad experimental contó con aeración continua, manteniendo el nivel de oxigenación en 6.09 ± 0.44 mg/L y una temperatura del agua de 27.8 ± 0.5 °C (Hanna

Cuadro 1. Composición de la dieta referencia y experimental (%).

Ingrediente	Dieta referencia	Dieta experimental
	g/kg	g/kg
	g/kg	
Pasta de soya	280	
Harina de pescado	250	
Harina de trigo	290	
Aceite de pescado	30	
Lecitina de soya	30	
Vitaminas	5	
Minerales	15	
Grenetina	40	
Oxido crómico	10	
Almidón		
Dieta referencia		700
Ingrediente experimental		300

Instruments, 9147, USA).

Antes de iniciar el bioensayo de digestibilidad los peces fueron dejados en inanición durante 5 días, con el objetivo de vaciar completamente el tracto digestivo del pez. La alimentación fue a saciedad, alimentando tres veces al día (08:00, 12:00 y 16:00 horas) durante 30 días. Dos horas después de la alimentación se recolectaron las heces por el método indirecto, directamente dentro del estanque, por medio de filtración continua. Las heces fueron lavadas con agua destilada y acondicionadas a -40 °C y posteriormente liofilizadas.

Así como las dietas experimentales en las heces se analizaron para determinar el contenido de óxido crómico y proteínas. La concentración de óxido crómico se determinó por el método de digestión ácida propuesta por Furukawa y Tsukuhara (1966).

Determinación de coeficientes de digestibilidad

Los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca y proteínas de las dietas (DAN) fueron

calculados mediante las ecuaciones de Maynard *et al.* (1981): (1) DAMS = $100 - 100 \times (\%Cr \text{ en dieta} / \%Cr \text{ en heces})$ (2) DAN = $100 - 100 \times (\%Cr \text{ en dieta} / \%N \text{ en dieta}) \times (\%N \text{ en heces} / \%Cr \text{ en heces})$.

Dónde: DAMS: digestibilidad aparente de materia seca de la dieta, DAN: digestibilidad aparente de los nutrientes de la dieta, Cr: óxido crómico, N: nutrientes.

Los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca y de nutrientes de los ingredientes probados fueron determinados mediante el método de Cho y Slinger (1979): (3) DAMSI = $[(100 \times \%DAMS \text{ de DP}) - ((100 - \%IP) \times DAMS \text{ de DB})] / \%IP$. (4) DANI = $[(100 \times \%DAN \text{ de DP} \times \%N \text{ en DP}) - ((100 - \%IP) \times DAN \text{ de BD} \times \%N \text{ en DB})] / \%IP \times \%N \text{ en IP}$.

Dónde: DAMSI: digestibilidad aparente de materia seca del ingrediente, DANI: digestibilidad aparente de nutriente del ingrediente, DB: dieta basal o de referencia; DP: dietas experimentales probadas;

IP: ingredientes probados; N: nutrientes.

Análisis estadísticos

El análisis estadístico fue realizado mediante una prueba de normalidad y homogeneidad de los datos. Para determinar se los datos obtenidos eran significativamente diferentes ($P < 0.05$), se utilizó el software computacional STATISTICA® 7.0, 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 identificar las diferencias entre los tratamientos.

RESULTADOS

En el cuadro 2 se muestra la composición proximal de las harinas de semillas de mezquite y leucaena en los distintos tratamientos. El proceso de extrusión no afectó significativamente ($P > 0.05$) el contenido proteína, cenizas y fibra de las harinas de semillas de mezquite y leucaena. Mientras los niveles de lípidos fueron reducidos de 1.37% en mezquite y 0.54% en leucaena. El nivel proteínico en HME fue superior mostrando 47.42 % contra 47.32 % en HMN. Así como el nivel proteínico en HLE mostrando 20.23% contra 20.13 % en HLN.

Cuadro 2. Composición química de harinas de mezquite (*Prosopis laevigata*) y harina de semilla de leucaena (*Leucaena leucocephala*) extrudidas y sin extrudir.

Nutrientos	HSMN	HSME	HSLN	HSLE
Proteína	47.42 ± 0.59 ^a	47.32 ± 0.48 ^a	20.23 ± 0.65 ^a	20.13 ± 0.4 ^a
Lípidos	6.69 ± 0.10 ^a	5.32 ± 0.15 ^b	10.04 ± 0.14 ^a	9.50 ± 0.03 ^b
Cenizas	5.65 ± 0.25 ^a	5.62 ± 0.27 ^a	6.1 ± 0.3 ^a	6.1 ± 0.4 ^a
Fibra	14.13 ± 0.61 ^a	14.13 ± 0.60 ^a	10.61 ± 1.16 ^a	10.59 ± 1.05 ^a
ELN	26.11	27.61	53.02	53.68

Los factores antinutricionales presentaron diferencia significativa ($P < 0.05$) con el procesamiento tecnológico de extrusión (Cuadro 3), con una disminución de los inhibidores de tripsina en HME (de 4.04 a 0.35 UTI/g) y en HLE (de 0.90 a 0 UTI/g). El contenido de ácido fítico presentó reducción de 6.52% en HME y 13.4% en HLE. Los niveles de saponinas demostraron una disminución significativa ($P < 0.05$) en HME de 2.2 a 2.0 mg ED/g y en HLE de 6.0 a 5.1 mg ED/g, resultando en un mejor aprovechamiento de estas leguminosas en dietas para tilapia.

El proceso de extrusión influyó significativamente ($P < 0.05$) en la digestibilidad aparente de la materia seca de la dieta (DAMSD) y de la digestibilidad aparente de la proteína en la dieta (DAPD) (Cuadro 4). Los valores promedio de DAMSD en HME fueron de 78.96% y 72.08 en HMN. Estos

valores fueron superiores a las dietas en HLE con 78.00% y en HLN con 73.74%. La extrusión incrementó la DAPD en 6.82% en HME y 13.36% en HLE.

De igual modo ocurrió con los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca de los ingredientes probados (DAMSI) y los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína de los ingredientes (DAPI), donde el proceso de extrusión demostró diferencia significativa ($P < 0.05$) (cuadro 5).

Los valores promedio de DAMSI en HME (87.57%) y HLE (82.03%) fueron superiores a los valores medios en HMN (61.30%) y HLN (66.82 %). El proceso de extrusión incrementó 21.16% de la DAPI en HME, mientras en HLE la DAPI el incremento fue de 06.65%. Por lo tanto, las mejores DAPI son presentados en los tratamientos con HME y HLE, con más de 90% de digestibilidad.

Cuadro 3. Efecto de la extrusión sobre el contenido de factores antinutricionales de Mezquite (*Prosopis laevigata*) y Leucaena (*Leucaena leucocephala*) en dietas para tilapia *O. niloticus*.

Ingredientes	Taninos (mg EC/100 g) ¹	Saponinas (mg ED/g) ²	I. de tripsina (UTI/g) ³	Ácido fítico (mg/g)
HMN	ND	2.2±0.3b	4.04±0.65b	35.6±0.08b
HME	ND	2.0±0.01a	0.35±0.03a	29.08±0.8a
HLN	ND	6.0±0.8b	0.90±0.03b	35.1±1.1b
HLE	ND	5.1±0.9a	0a	21.7±1.73a

¹mg EC/100g = mg equivalentes de catequina/g de muestra. ²mg equivalentes de diosgenina/g de muestra. ³Unidades de tripsina inhibida/g de muestra. 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.

Cuadro 4. Coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca y proteínica de las dietas para tilapia *O. niloticus*.

Ingrediente	DAMSD	DAPD
	Porcentaje %	
HME	79.96 ±2.55 ^a	87.27 ±0.38 ^a
HMN	72.08 ±0.68 ^b	80.99 ±0.28 ^b
HLE	78.00 ±5.81 ^a	82.43 ±2.71 ^a
HLN	73.74 ±4.05 ^b	69.07 ±0.51 ^b

DISCUSIÓN

Se sabe que los factores antinutricionales presentes en los vegetales tienen efecto directo tanto la digestibilidad, cuanto el metabolismo de los principales nutrimentos (proteínas y lípidos) de las dietas elaboradas para los organismos de cultivo (Valdez-González *et al.*, 2013). El proceso de extrusión utilizado en el presente estudio provocó efectos positivos en los factores antinutricionales probados (Cuadro 3) y puede favorecer una mejor digestibilidad en dietas para tilapias, además de ser reflejado en los rendimientos productivos, como demuestran Valdez-González *et al.*, 2018b y Díaz-Vázquez *et al.*, 2019.

Los inhibidores de tripsina son de naturaleza proteínica y están presente en la gran mayoría de los gra-

nos, disminuyendo la digestibilidad metabólica de las proteínas (Norton, 1991) y pueden causar hasta la hipertrofia del páncreas (Shimei y Luo, 2011). Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la disminución de forma drástica de los inhibidores de tripsina en 91.33 % en mezquite y 100% en leucaena al compararse con los tratamientos sin extrudir (Cuadro 4) tiene efecto directamente en los coeficientes de digestibilidad aparente (materia seca y proteínica). Estos resultados coinciden con lo reportado por Díaz-Vázquez *et al.*, 2019 en dietas con 30% de harina de yaca, donde se combinaron el proceso de extrusión y el descascarillado y obtuvieron mejora significativa en la digestibilidad de la proteína.

Cuadro 5. Coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca y proteínica de los ingredientes en dietas para tilapia *O. niloticus*.

Ingrediente	DAMSI	DAPI
	Porcentaje %	
HME	87.57 \pm 8.51 ^a	92.62 \pm 4.27 ^a
HMN	61.30 \pm 2.68 ^b	73.02 \pm 0.72 ^b
HLE	81.03 \pm 3.37 ^a	90.90 \pm 1.01 ^a
HLN	66.82 \pm 3.49 ^b	84.85 \pm 3.39 ^b

DAMSI: Digestibilidad aparente de materia seca del ingrediente, DAPI: Digestibilidad aparente proteínica del ingrediente, HEE: Harina de Mezquite Extrudido, HE: Harina de Mezquite, HBE: Harina de Leucaena Extrudida, HB: Harina de Leucaena. Los valores son presentados como media \pm desviación estándar, n = 3. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (P < 0.05), basados en la prueba Tukey

Los resultados también pueden explicarse con lo reportado por otros autores que consideran a los inhibidores de tripsina como los principales inhibidores de proteasas encontrados principalmente en semillas crudas y tiene su explicación en que la extrusión utiliza durante el proceso altas temperaturas que reducen o eliminan el contenido de sustancias termolábiles (Nikmaram *et al.*, 2017).

El ácido fítico se encuentra mayormente en la semilla y en la fibra de los vegetales (Guillaume *et al.*, 2004). Se sabe históricamente que los peces no poseen ninguna enzima capaz de hidrolizar eficazmente los enlaces externos del ácido fítico (Hendricks y Bailey, 1989). El ácido fítico también puede actuar sobre ciertas enzimas digestivas, disminuir la digestibilidad de las proteínas (Chan *et al.*, 2008) y provocar una desmineralización (Vielma *et al.*, 1998).

Los resultados obtenidos en lo presente estudio muestran una disminución en los niveles de ácido fítico de 18.31% en mezquite y 38.17% en leucaena. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Valdez-González *et al.*, 2018a) mediante la combinación de los procesos de fermentación y descascarillado en garbanzo y frijol para dietas en tilapia nilótica que resultó en la mejora de la digestibilidad de la materia seca y proteínica. Díaz-Vázquez *et al.* (2019), reportaron disminución de 3.79% en el contenido de ácido fítico en die-

tas para tilapia a base de harina de yaca, por medio del proceso de extrusión.

Con respecto a digestibilidad dos parámetros permiten estimar, seleccionar y optimizar la cantidad de materia seca y proteína del alimento que son digeridas y absorbidas por los organismos: la digestibilidad aparente de materia seca (CADMS) y de proteína (CADP) (Brunson *et al.*, 1997). Las diferencias en CAMSD y CAPD pueden explicarse por la composición química, por medio del origen y el procesamiento de los ingredientes de las dietas (Köprücü y Özdemir, 2005).

Se sabe que a tilapia nilótica es aparentemente capaz de asimilar una amplia variedad de alimentos y los datos de digestibilidad de este estudio se comparan favorablemente con los obtenidos por diversos estudios con especies de peces de agua dulce y tropicales (Davies *et al.*, 2011). Además, los expertos en nutrición de peces han demostrado que las fuentes de proteínas vegetales tienen alto potenciales para suministrar pescado con la proteína requerida necesidad de máxima productividad después de haber sido correctamente procesado para disminuir los factores antinutricionales (Rojas 2014; Valdez-González *et al.*, 2018b; Díaz-Vázquez *et al.*, 2019; Tomas *et al.*, 2020).

Los resultados del presente estudio, indican que la composición química proximal de los ingredientes probados (Cuadro 2) fueron determinantes en los resultados de digestibilidad. Los resultados demostraron alta digestibilidad de proteína en las dietas con el proceso de extrusión (87% en mezquite y 82% en leucaena) e incremento de uno 8.04% en el CDAP en mezquite y uno 15.85% en leucaena. Además, los resultados coinciden con lo reportado por los autores, donde el proceso de extrusión mejoró significativamente la digestibilidad de la metería seca en dietas a base de harina de garbanzo, frijol y maíz (Valdez-González, 2017) y harina de yaca (Díaz-Vázquez *et al.*, 2019) y por medio de la fermentación en dietas con mezquite (Aroyehun *et al.*, 2021).

En este estudio se mostró que en las dietas con extrusión fueron digeridas con facilidad por juveniles de tilapias nicóticas y pueden explicarse por la calidad de la proteína en combinación con los niveles reducidos y bloqueos de actividades antinutricionales. Los resultados de digestibilidad también pueden explicarse con lo reportado por otros autores que consideran a los inhibidores de tripsina como los principales inhibidores de proteasas encontrados principalmente en semillas crudas (Valdez-González *et al.*, 2013). Además, estas sustancias alteran la digestión proteínica e inhiben el crecimiento por la inactivación de la tripsina (Nwabueze *et al.*, 2008).

Sin embargo, queda demostrado también que a temperaturas de extrusión de 140°C provoca la inactivación de este antinutriente en trigo y arroz (Kaur *et al.*, 2014) y de 150°C para harina de canola (Satoh *et al.*, 1998). De este modo, temperaturas y condiciones similares fueron las que se utilizaron en este estudio y de esta manera son más notorios los impactos benéficos de la extrusión en las harinas de mezquite y leucaena.

CONCLUSIÓN

La composición proteínica en las dietas con HME y HMN contienen en media 27% más proteínas que las dietas con HLE y la HLN. Además, el proceso de extrusión no afectó significativamente el contenido de proteína, cenizas y fibra de dietas con harina de mezquite y leucaena. Sin embargo,

disminuyó en media 1.31% el contenido de lípidos en harina de mezquite y 0.54% en harina de leucaena.

Los factores antinutricionales disminuyó de forma drástica los niveles medios de los inhibidores de tripsina tanto en HME cuanto HLE y también disminuyó el ácido fítico estos tratamientos.

Las dietas que incluyeron semillas extrudidas fueran digeridas con facilidad por juveniles de tilapias nilóticas, debido a la calidad de la proteína en combinación con la reducción de factores antinutricionales. Luego, la sustitución en 30% de HME y HLE en la dieta referencia podría reemplazar proteína animal sin comprometer da digestibilidad de las dietas en juveniles de la tilapia del Nilo. Además, las dietas experimentales pueden ser tan digeribles y adecuadas cuanto las dietas tradicionales a base harina de pescado, aunque se requieren estudios adicionales con diferentes porcentajes de inclusión de los ingredientes, así como estudios de costo-beneficio.

REFERENCIAS

- AACC International. (17 de Mayo de 2018). Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 22-40.01. Enzymes--Measurement of Trypsin Inhibitor Activity of Soy Products -- Spectrophotometric Method. St. Paul, MN., U.S.A.: American Association for Clinical chemistry.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1999). Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International, 16th edn. AOAC. Arlington, VA.
- Aroyehun, S.A., Alegbeleye, W.O., Agbebi OT, Akinde A (2021) Evaluation of fermented African mesquite seed (*Prosopis africana*) on growth and nutrient digestibility of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Journal of Fisheries 9(2): 92202.
- Bhatt, S., Chovatiya, S. y Shah, A. (2011), Evaluación de harina de semillas de *Prosopis juliflora* cruda e hidrotérmicamente procesada como alimento complementario para el crecimiento de alevines de *Labeo rohita*. Nutrición acuícola, 17: e164-e173. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00745.x>.

- Brunson, J. F., Romaine, R. P., y Reigh, R. C. (1997). Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. *Aquaculture Nutrition*, 3, 9-16.
- Carvalho, JSO.; Azevedo, RV de; Ramos, APS; Braga, LGT, 2012. Agroindustrial byproducts in diets for Nile tilapia juveniles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.41, p.479-484. DOI: 10.1590/S1516-35982012000300002.
- Chan CR, Lee DN, Cheng YH, Hsieh DJY y Weng CF. 2008. Feed deprivation and re-feeding on alterations of proteases in tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Zoological Studies*, 47: 207-215.
- Cho, C., y Slinger, S. (1979). Apparent digestibility measurements in feedstuffs for rainbow trout. *Technology*, 239-247.
- Davies SJ Abdel-Warith AA y Gouveia A. 2011. Digestibility Characteristics of Selected Feed Ingredients for Developing Bespoke Diets for Nile Tilapia Culture in Europe and North America. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42: 388-398
- Díaz-Vázquez, I.E.; Zavala-Leal, O.I.; Pacheco-Vega, J. M.; Cuevas-Rodriguez, B. L.; Ruiz-Velazco, J. M.; Guitierrez-Dorado, R.; Cordero-Ramírez, J.D. and Valdez-González, F. J 2019. 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*, v. 17,p.9, <http://hdl.handle.net/10524/62963>.
- El-Sayed, A. F. M. 2014. Evaluation of fermented soybean meal in the practical diets for juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*. *Aquaculture Nutrition*, 19: 74-83.
- El-Tawil, N., Ali, S., El-Mesallamy, A. 2020. Effect of using taro leaves as a partial substitute of soybean meal in diets on growth performance and feed efficiency of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*. 24(7):383-396.
- 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.
- Furukawa, H., y Tsukuhara, H. (1966). On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish fed. *Bull. Jap. Soc. Sci. fish*, 32, 502-508.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., y Métailler, R. (2004). *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hendricks JA y Bailey GS. 1989. Adventitious toxins. En Halver J.E. (Ed) *Fish Nutrition*, 2da ed. Academic Press, NY, pp. 605-651. <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0700S/T0700S06.htm>, (Consultada el 19 septiembre de 2014).
- Hiai, S., Oura, H., y Nakajima, T. (1976). (1976). Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica*, 29(02), 116-122.
- Kaur, G., Rehal, J., Singh, B., y Kaur, A. (2014). Optimization of extrusion parameters for development of ready-to-eat breakfast cereal using RSM. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 33(2), 77-86.
- Köprücü K y Özdemir Y. 2005. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250: 308-316.
- Maynard, LA, Loosli, JK, Hintz HF y Warner RG. 1981. *Animal Nutrition*. McGraw-Hill Book Company, New York, NY, USA. 289 pp.
- Milán-Carrillo, J., Reyes-Moreno, C., Camacho-Hernández, I.L., and Rouzand-Sánchez, O. 2002. Optimisation of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum*) into a useful product. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 82(14):1718-1728.
- National Research Council. (1993). *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, DC, 114.
- 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.
- Norton, G. 1991. Proteinase inhibitors. In: D'Mello, F.J.P., Duffus, C.M., Duffus, J.H.Ž. Eds. *House*, Science Park. Cambridge, pp. 68-106.
- Nwabueze, T. (2008). Effect of process variables on trypsin inhibitor activity (TIA), phytic acid and tannin content of extruded african breadfruit-corn-soy mixtures: A response surface analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 21-29.

- Rojas, D. I. C. Evaluación del valor nutricional del gluten de maíz como sustituto de la harina de pescado en dietas para pargo flamenco (*Lutjanus guttatus*). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Maestría en Ciencias, 2014.
- Rodríguez-González, R; Valdez-González, F. J. (2013). Revisión del efecto de los antinutrientes y la fibra de leguminosas en la alimentación para peces. *Ciencia Nicolaita*, N. 59, 2013.
- Satoh, S., Higgs, D. A., Dosanjh, B. S., Hardy, R. W., Eales, J. G., y Deacon, C. (1998). Effect of extrusion processing on the nutritive value of canola meal for chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in seawater. *Aquaculture Nutrition*, 4, 115-122.
- Shimei L y Luo L. 2011. Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Animal Feed Science and Technology*, 168: 80-87
- Tomas, Visbal & Salcedo, Marielba & Leandra, Rial & Carlos, Betancourt & Medina, Ana. (2021). *Revista Facultad de Farmacia* 2020. *Revista de la Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela*. 62. 23-33.
- Valdez-González FJ, Gutiérrez-Dorado R, García-Ulloa M y Rodríguez-González H. 2013. Revisión del efecto de los antinutrientes y la fibra de leguminosas en la alimentación para peces. *Ciencia Nicolaita*, 51: 21-40.
- Valdez-González, F. J., Gutiérrez-Dorado, R., Hernández-Llamas, A., García-Ulloa, M., Sánchez-Magaña, L., Cuevas-Rodríguez, B., y otros. (2017). Bioprocessing of common beans in diets for tilapia: in vivo digestibility and antinutritional factors. *Journal Science Food Agriculture*, 17,214-222.
- Valdez-González, F.J.; Gutiérrez-Dorado, R.; García-Ulloa, M.; Cuevas-Rodríguez, B.L.; Rodríguez-González, H (2018a). 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*, Volume 16, Issue 1, e0605. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018161-11830>.
- Valdez-González, F.J.; Zavala-Leal, I.; Ruiz-Velazco, M.; Pacheco-Vega, J.; González-Hermoso, J.; Cuevas-Rodríguez; B.; Díaz-Vázquez, I.; and Polanco-Torres, A (2018b). Efecto del descascarillado de semillas de jaca (*Artocarpus heterophyllus*) sobre antinutrientes, parámetros hematológicos y desempeño productivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Acta Pesquera*, v.4, n.7. <https://cimateuan.education/revistav2/index.php/AP/article/view/41>.
- Vandenberg, G.W., Scott, S.L. y De la Noüe, J. 2012. Factors affecting nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a plant protein-based diet supplemented with microbial phytase. *Aquaculture Nutrition*. 18: 369-379.
- Vielma J, Lall SP, Koskela J, Schöner FJ, Mattila P. 1998. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 163: 309-323.

