

Digestibilidad *in vivo* en tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la pasta residual fermentada de semillas de *Jatropha curcas*

Yadira del Carmen López-Martínez¹, Sonia Ruiz-González^{2*}, Isidro Ovando-Medina²

¹Licenciatura de Ingeniero en Sistemas Costeros. Universidad Autónoma de Chiapas. Puerto Madero, Tapachula, Chiapas, México.

²Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México.

Resumen

La pasta residual de la semilla de *Jatropha curcas* por ser rica en proteína tiene características nutrimentales los cuales pueden llegar a ser utilizadas para la alimentación de animales; sin embargo, por contener compuestos tóxicos no se aprovecha. La detoxificación mediante fermentación empleando hongos de la misma planta ha dado resultados positivos para reducir o eliminar compuestos tóxicos como ésteres de forbol. La pasta residual fermentada con hongos endófitos puede ser utilizada como alternativa en la alimentación de peces, por esa razón, en el presente estudio se investigó la digestibilidad de la pasta residual como alimento de tilapia *Oreochromis niloticus* en etapa alevín y juvenil. Los resultados mostraron que las dietas a base de la pasta residual fermentada fueron digeridas con mayor facilidad por juveniles de tilapia nilótica. Los valores nutricionales determinados en las dietas utilizadas muestran que la pasta fermentada cumple con los requerimientos para la alimentación de las tilapias ya que muestran valores similares al alimento convencional.

Palabras clave:

Acuicultura
Alimento balanceado
Co-productos
Fermentación sólida
Toxicidad

Keywords:

Aquaculture
Feed balanced
Co-products
Solid fermentation
Toxicity

In vivo digestibility of the fermented residual cake of *Jatropha curcas* seeds using tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Abstract

The residual cake of the *Jatropha curcas* seed is rich in protein, which is why it has nutritional characteristics to be used for animal feeding; however, because it contains toxic compounds, it is not used. The detoxification using fungi by solid-state fermentation have given positive results to remove toxic compounds such as phorbol esters. The residual cake fermented with endophytic fungi can be used as an alternative in feeding fish, for this reason, in the present study the digestibility of the residual paste as food of tilapia *Oreochromis niloticus* in the fingerling and juvenile stage was investigated. The results showed that the diets based on the fermented residual paste were more easily digested by juvenile Nilotic tilapia. The nutritional values determined in the diets used shown that the fermented paste meets the requirements for tilapia feeding, since they show similar values to conventional feed.

* Autor para correspondencia:

Instituto de Biociencias,
Universidad Autónoma de
Chiapas.
Boulevard Príncipe Akishino
sin número, Colonia
Solidaridad 2000, CP.
30798.
Tapachula, Chiapas, México.
Teléfono: + 52 9626427972.
Correo-electrónico:
sony.ruizgonzalez@gmail.com

1. Introducción

México cuenta con una gran biodiversidad de flora, albergando un alto número de plantas de interés. Una de estas plantas es el piñón (*Jatropha curcas* L.), la cual se distribuye en climas tropicales y semitropicales, y se caracteriza por ser un cultivo apto para ser implantado en suelos marginales, bajo condiciones áridas y semiáridas (Kumar y Sharma, 2008). Es una planta Euphorbiaceae, cuyas semillas poseen elevado contenido de aceite, por lo cual es considerada de alto potencial para cultivo intensivo con fines de producción de biocombustibles (Dharma et al., 2016). Desde el año 2007, se han establecido en el estado de Chiapas al sur de México, alrededor de 1000 ha de este nuevo cultivo, de las cuales en la zona costera se tienen registradas 200 ha plantadas, principalmente en el municipio de Arriaga, Chiapas (Ovando-Medina et al., 2016).

La importancia de este cultivo radica en que el producto primario que se obtiene son sus semillas, las cuales sirven como materia prima para la extracción de aceite, además, es una planta de fácil manejo y rápido crecimiento. El rendimiento promedio es de 3 ton de semilla por ha; de eso solo 1.5 toneladas son de aceite y el resto es de pasta residual. La pasta de *J. curcas* tiene características nutrimentales las cuales pueden llegar a ser utilizadas para la alimentación de animales (Rodríguez-Calle et al., 2016). La pasta residual de *J. curcas* es un subproducto que contiene un elevado valor nutritivo de fibra (15-20%) y proteína (45-55%) (Martínez et al., 2010). Aún con estas características es un subproducto al que no se le está tratando ni aprovechando por contener compuestos tóxicos (ésteres de forbol) y compuestos no nutritivos (lectinas, curcinas, saponinas) (Devappa et al., 2012; Makkar et al., 1997).

Como alternativa se ha propuesto la detoxificación de la pasta residual utilizando diversos métodos, los cuales tienen como fin degradar los compuestos tóxicos presentes en productos vegetales. Los métodos de detoxificación se pueden basar en procesos térmicos, químico-enzimáticos y/o fermentativos con resultados parcialmente exitosos en la remoción o inactivación de compuestos tóxicos (López et al., 2006; Zhang et al., 2016).

Diversos estudios mencionan que la detoxificación biológica es una alternativa biotecnológica que disminuye los factores no nutritivos y compuestos tóxicos de la pasta de *Jatropha*. Phengnuam y Suntornsuk (2013) utilizaron dos cepas de *Pseudomonas* para detoxificar el residuo de la pasta residual de *J. curcas*, como resultado encontraron que *Bacillus licheniformis* logró disminuir 62% la concentración de ésteres de forbol mediante fermentación sumergida. Veerabhadrapa et al. (2014) utilizaron una cepa de *Aspergillus versicolor* CJS-98 en fermentación sólida para optimizar lipasas, proteasas y detoxificar la pasta residual de *J. curcas*. Como resultado encontraron que los ésteres de forbol se redujeron de 0.083% a 0.015%.

En otro estudio, Flores-Chilel et al. (2020) detoxificaron la pasta residual de semillas de *J. curcas* con hongos endófitos aislados de la misma planta; obtuvieron una pasta de baja

toxicidad y presentó más contenido de proteína soluble con el tratamiento inoculado con los hongos *Penicillium* sp. y *Nigrospora* sp.

Por otro lado, Solomon et al. (2016) evaluaron el crecimiento de los alevines de *Clarias gariepinus* alimentados con harina de *J. curcas* detoxificada químicamente como un sustituto de la harina de pescado, los resultados que obtuvieron al final de ocho semanas en cuanto a la ganancia de peso y la tasa de crecimiento fueron mayores en los peces alimentados con un nivel de inclusión del 13% de *J. curcas* que indica hasta un 50% de sustitución de la harina de pescado sin afectar el crecimiento y la utilización de nutrientes de manera significativa.

Wang et al. (2013) detoxificaron la pasta residual de *J. curcas* con una nueva cepa de *Streptomyces fimicarius*. La pasta fermentada en estado sólido no fue tóxica para plantas y alevines de carpa y promovieron significativamente el crecimiento de la planta de tabaco, por lo que sugieren que además de usarlo para alimentación de animales puede ser utilizado como fertilizante orgánico.

Aunque la pasta sea detoxificada, se desconoce su digestibilidad con miras a su uso como alimento de peces. Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue evaluar la digestibilidad de la pasta residual fermentada de semillas de *Jatropha curcas* en mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*).

2. Materiales y métodos

Se utilizó harina desgrasada de semillas de *J. curcas* de la accesión MAP-08 para la fermentación en estado sólido de pasteles de 40 g, inoculando esporas de dos hongos endófitos, *Penicillium* sp. CDCU-3 y *Nigrospora* sp. CHIC-1 (1×10^9 esporas de hongo en agua estéril suficiente para alcanzar 50% de humedad, determinado gravimétricamente). La incubación se hizo en bolsas herméticas Ziploc® durante 10 d a 28 °C. Una vez crecidos los hongos, los fermentados se guardaron en refrigeración.

Se realizó la preparación del alimento mezclando pasta residual con otros componentes que son utilizados para la dieta de la tilapia y el marcador inerte óxido de cromo (Bremer-Neto et al., 2005). Para la obtención de los *pellets* se utilizó el molino de carne donde se obtuvo cilindros de 0.50 mm, posteriormente fueron secados por 24 h a 40 °C y almacenados hasta su uso.

2.1. Caracterización química del alimento

Los análisis químicos del alimento fueron realizados siguiendo los métodos sugeridos por AOAC (1997). Así se determinaron el contenido de humedad, lípidos por el método de Soxhlet (James et al., 1999), cenizas mediante calcinación en la mufla, proteínas por el método de Kjeldahl y carbohidratos totales siguiendo el método de Dubois et al. (1956).

2.1.1. Humedad

Se determinó por el método de gravimetría usando el secado en horno para lo cual, se registró el peso constante de los crisoles y se les agregó 1 ± 0.05 g de muestra. Después se

colocaron los crisoles en el horno a 105 °C durante 24 h, transcurrido ese tiempo, se enfriaron en el desecador y se tomó el peso del crisol con la muestra seca. Se estimó la humedad (H) aplicando la fórmula, $H (\%) = \frac{((C+MH) - (C+MS))}{((C+MH)-C)} * 100$. Donde, C: crisol, MH: muestra húmeda, MS: muestra seca.

2.1.2. Cenizas

Se determinó por el método de calcinación en mufla, para lo cual se utilizaron las muestras secas provenientes del análisis de humedad. Se calcinaron las muestras a 550 °C, durante 4 h, se enfriaron en desecador y se pesaron. Se calculó el contenido de cenizas a través de, $C (\%) = \frac{(\text{crisol mufla} - \text{crisol vacío})}{(\text{crisol muestra} - \text{crisol vacío})} * 100$.

2.1.3. Proteína

Se determinó por el método de Kjeldahl. Inicialmente se pesó 0.5 g de muestra, se colocó la muestra en un tubo donde se añadió 2 g de catalizador y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado para digestión a 420 °C durante 60 min. Posteriormente se añadió 80 mL de agua destilada y 50 mL de NaOH al 40%. A continuación, se destiló la muestra recibiendo el destilado en 25 mL de ácido bórico al 4% hasta que alcanzó un volumen de 100 mL y viró a color verde. Finalmente, se titularon las muestras con una solución de HCl valorada hasta viraje a color rosa claro. Se calculó el porcentaje de proteína considerando 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína, utilizando la ecuación, $\text{Prot} (\%) = \frac{(\text{mL HCl muestra} - \text{mL HCl blanco}) * N \text{ HCl} * \text{meq N} * 6.25}{\text{peso muestra}} * 100$.

2.1.4. Carbohidratos totales

Primeramente, se maceraron 50 mg de muestra en 50 mL de agua destilada, de donde se transfirió 1 mL de la suspensión a un tubo de ensayo de 13 x 100 y se adicionó 0.6 mL de una solución acuosa de fenol al 5%. Se mezcló y se añadió 3.6 mL de ácido sulfúrico concentrado. Dicha mezcla se dejó 30 min a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 480 nm. Se estimó el contenido de azúcares, en porcentaje, a partir de una curva patrón de glucosa preparada en el intervalo 0-50 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

2.2. Material biológico

2.2.1. Alevines

Se evaluó la sobrevivencia, talla y peso de alevines de tilapia (*O. niloticus*) iniciando con un peso de 0.1 g. Se tuvieron 3 tratamientos con tres repeticiones bajo un diseño completamente al azar, con 20 organismos por repetición o unidad experimental. Durante el periodo experimental se instalaron 9 unidades experimentales con capacidad de 20 L. En cada unidad experimental la temperatura se mantuvo constante 26 °C.

2.2.2. Juveniles

Se utilizaron juveniles con peso de 20 g, a los cuales se evaluaron sobrevivencia peso y talla. Se tuvieron 3 tratamientos con tres repeticiones bajo un diseño completamente al azar, con 20 organismos por repetición o unidad experimental. Durante el periodo experimental se instalaron 9 unidades experimentales con capacidad de 60 L.

En cada unidad experimental la temperatura se mantuvo constante 26 °C.

2.2.3. Alimentación y recolección de heces

Previo al inicio del bioensayo, los peces fueron dejados en ayuno durante 5 días, con el objetivo de vaciar completamente el sistema digestivo del pez. La alimentación fue *ad libitum* tres veces al día con alimento balanceado convencional, dieta a base de pasta residual fermentada o con dieta a base de pasta no fermentada (6:00 am, 10:00 am y 1:00 pm), durante 21 d. Diariamente se sifoneó 30 min después de la última alimentación para extraer el alimento sobrante, se recolectaron las heces a las 6:00 pm. La materia fecal colectada, se enjuagó con agua y se almacenó hasta su análisis. Para la determinación del porcentaje de digestibilidad aparente se utiliza las siguientes fórmulas (Furukawa et al., 1966), Digestibilidad aparente de materia seca (DAMS) = $100 - [100 * (\% \text{ óxido de cromo en dieta} / \% \text{ óxido de cromo en heces})]$; digestibilidad aparente del nutriente (DAN) = $100 - [100 * ((\% \text{ óxido de cromo en dieta} / \% \text{ N en dieta}) (\% \text{ N en heces} / \% \text{ óxido de cromo en heces}))]$. Estas determinaciones se denominan “aparentes” porque no se ha corregido la posible interferencia que involucra la excreción de materia fecal de origen endógeno (descamación de las células digestivas, enzimas secretadas en el lumen, bacterias). La concentración de Cr_2O_3 se determinó por el método de digestión ácida (Furukawa et al., 1966). El porcentaje de nutriente en alimentos y heces se obtuvo mediante la determinación de proteína con el método de Lowry, para lo cual se realizó la extracción con buffer PBS (Lowry et al., 1951).

2.3. Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de la varianza, y donde se encontraron diferencias se aplicó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), con el programa XLStat Profesional versión 2011.

3. Resultados

3.1. Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal de la pasta fermentada (PF), la pasta no fermentada (PNF) y alimento convencional (AC) se muestran en el Cuadro 1. La pasta fermentada y el alimento convencional tienen valores similares (diferencia entre 0.6 a 1%) en los parámetros analizados, la pasta no fermentada es la que presentó diferencias en cada uno de los valores que se obtuvieron, siendo menores entre 6 (humedad) al 15% (proteína). Después de realizar los análisis proximales de las pastas se implementó el experimento en dos fases, alevines y juveniles, de acuerdo con lo establecido en la sección de materiales y método.

3.2. Alevines

La tasa de sobrevivencia de alevines se muestra en la Figura 1. El AC mantuvo 95% de sobrevivencia final durante el experimento. Los tratamientos PF y PNF, mostraron un comportamiento similar de disminución en la tasa de

sobrevivencia, la PNF presentó a partir del día 2 y hasta el día final 45% de sobrevivencia, mientras que PF a partir del día 2 hasta el día 10 mostró el 60% en la tasa de sobrevivencia.

Cuadro 1. Valores proximales de la Pasta Fermentada, Pasta No Fermentada y Alimento Convencional.

	Humedad (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)
Pasta fermentada	11	39	7.8	3.40
Pasta no fermentada	4	24	8.1	2.80
Alimento convencional	11	40	--	4.00

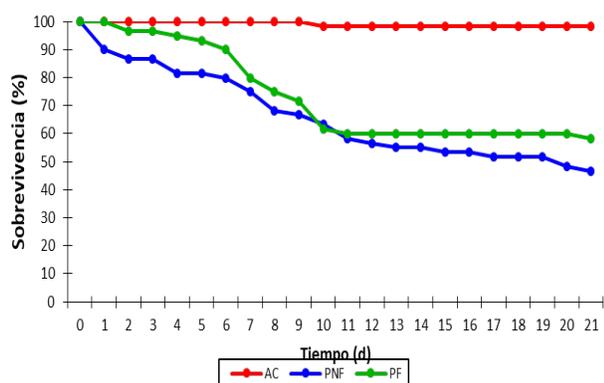


Figura 1. Porcentaje de sobrevivencia de alevines sometidos a los diferentes tratamientos AC: alimento convencional, PF: pasta fermentada, PNF: pasta no fermentada.

Las ganancias entre los pesos establecidos en los diferentes tratamientos con alevines se observan en la Figura 2. Los alevines alimentados con el AC mostraron mayores ganancias en peso, siendo 3 veces más que las diferencias de los alevines alimentados con PF y 5 veces más que las de PNF, siendo esta última la de menores variaciones de peso.

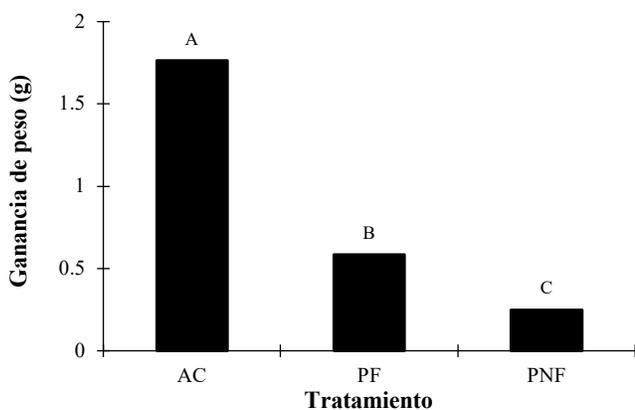


Figura 2. Peso entre los diferentes tratamientos establecidos con alevines. AC: alimento convencional, PF: pasta fermentada, PNF: pasta no fermentada. Letras iguales no hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

En la Figura 3 se muestran los diferenciales de longitud en los diferentes tratamientos en alevines. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el AC quien presenta el mayor diferencial en la longitud de los alevines tratados siendo 2 veces mayor que las presentadas por PF y 3 veces más que las presentadas, por PNF, siendo estas últimas quienes presentaron un menor tamaño.

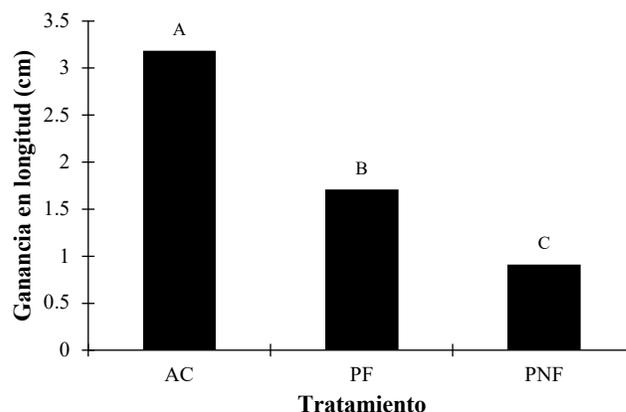


Figura 3. Longitud entre los diferentes tratamientos establecidos con alevines. AC: alimento convencional, PF: pasta fermentada, PNF: pasta no fermentada. Letras iguales no hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

3.2.1. Digestibilidad aparente

En la etapa de alevines el Coeficiente de Digestibilidad Aparente de Proteína (CDAP), mostró diferencias significativas entre los tratamientos establecidos, esto se observa en la Figura 4. AC (90%) presentó mayor porcentaje de CDAP siendo más de 2 veces el porcentaje presentado por la PNF (40%), y apenas superior al presentado por la dieta PF (85%). El CDAP de PF fue mayor que la PNF, aunque no alcanzó a ser igual a valor de AC.

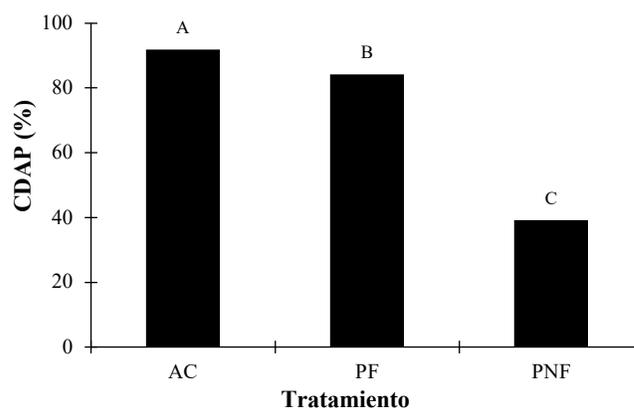


Figura 4. Coeficiente de Digestibilidad Aparente de Proteína (CDAP) en la etapa de alevines, en los diferentes tratamientos establecidos. AC: alimento convencional, PF: pasta fermentada, PNF: pasta no fermentada. Letras iguales no hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

En el coeficiente de digestibilidad de materia seca (CDMS) no se observó diferencia entre los tratamientos de PF y AC, pero si hubo diferencia con respecto a PNF (Figura 5).

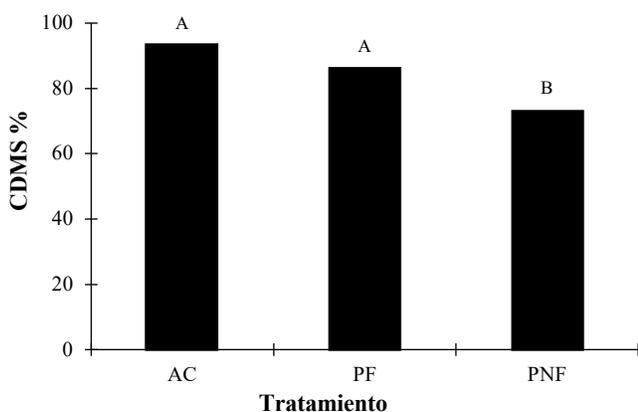


Figura 5. Coeficiente de Digestibilidad de Materia Seca (CDMS) en la etapa de alevines, en los diferentes tratamientos establecidos. AC: alimento convencional, PF: pasta fermentada, PNF: pasta no fermentada. Letras iguales no hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

3.3. Juveniles

La sobrevivencia en los juveniles de *O. niloticus* se presenta en la Figura 6. Se muestra que, para la PNF, no hubo sobrevivientes después del primer día de alimentación por lo que posteriormente solo se tomaron en cuenta AC y PF para los siguientes análisis, mientras que para AC y PF del primer día y el cuarto día hubo muerte de los peces, manteniéndose en ambos casos por encima del 50% de sobrevivencia.

Los valores encontrados para los tratamientos AC y PF, no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) con respecto a la ganancia de peso (Figura 7) ni con respecto a la longitud de los juveniles de *O. niloticus* (Figura 8).

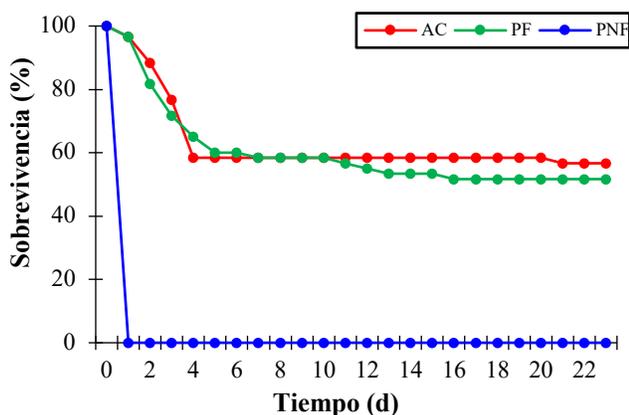


Figura 6. Porcentaje de sobrevivencia de juveniles en los diferentes tratamientos. AC: Alimento Convencional, PF: Pasta Fermentada.

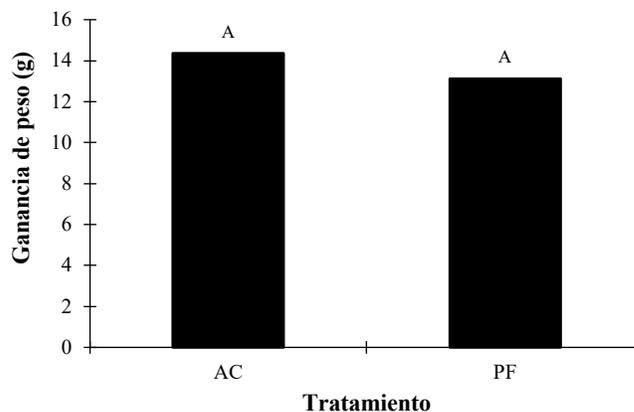


Figura 7. Diferencias de peso de juveniles en los diferentes tratamientos. AC: Alimento Convencional, PF: Pasta Fermentada. Letras iguales no hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

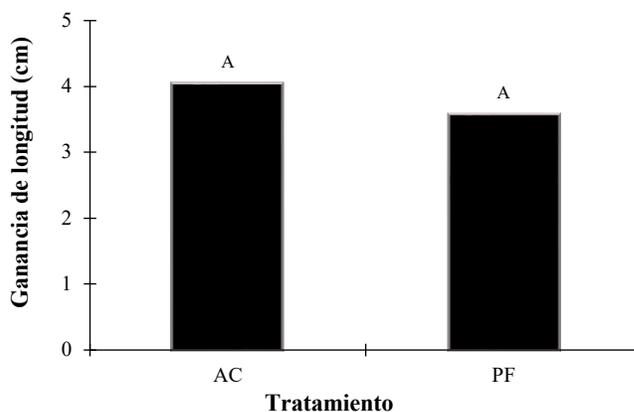


Figura 8. Diferencias de longitud entre los diferentes tratamientos establecidos con juveniles. AC: Alimento Convencional, PF: Pasta Fermentada. Letras iguales no hay diferencias estadísticas ($\alpha=0.05$).

3.3.1. Digestibilidad aparente

En la etapa de juveniles, el CDAP no mostró diferencia entre los tratamientos del alimento convencional y la pasta fermentada (Figura 9) siendo en ambos tratamientos del 90%.

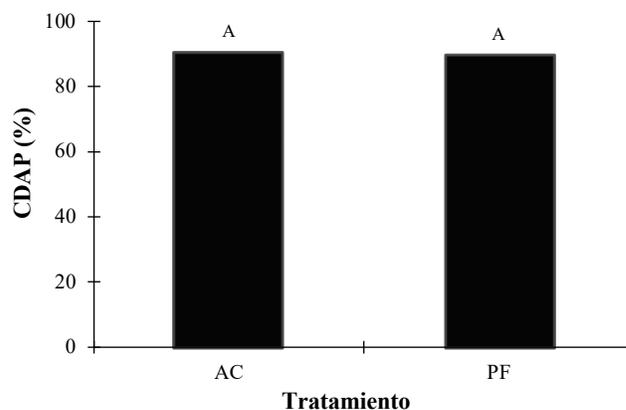


Figura 9. Coeficiente de digestibilidad aparente en la etapa de juveniles en los tratamientos alimento convencional (AC) y pasta fermentada (PF) de *J. curcas*. Letras iguales no hay diferencia significativa ($\alpha=0.05$).

Para el CDMS en la etapa de juveniles se observó diferencias significativas entre los tratamientos establecidos ($P < 0.05$), AC presentó el mayor porcentaje (75%) mientras que el valor de PF fue 15% menor.

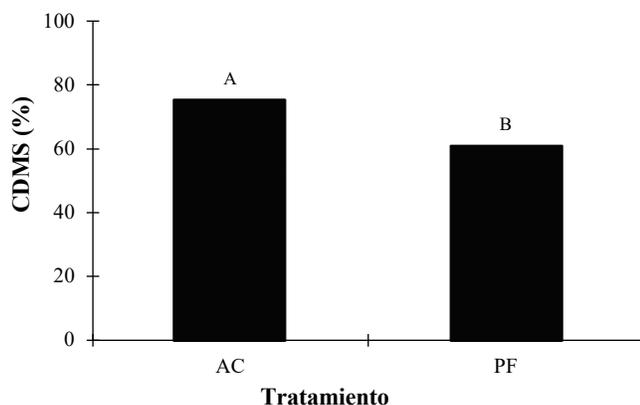


Figura 10. Coeficiente de Digestibilidad de Materia Seca (CDMS) en la etapa de juveniles, en los diferentes tratamientos establecidos. AC: Alimento Convencional, PF: Pasta Fermentada. Letras iguales no hay diferencias estadísticas ($\alpha = 0.05$).

4. Discusión

Los valores nutricionales determinados en las dietas utilizadas demuestran que la PF cumple con los requerimientos para la alimentación de las tilapias, ya que muestran valores similares al AC, las diferencias de PF con respecto a la PNF, revelan el efecto de la fermentación realizada con el hongo, y a esto se debe el aumento en el contenido proteico. Los resultados son similares a lo reportado por algunos autores, donde utilizaron diferentes cepas de hongo y diferentes sustratos como el frijol (Reyes-Fernández et al., 2008), garbanzo (Cuevas-Rodríguez et al., 2006; Paredes-López et al., 1991).

Los valores nutricionales determinados en las dietas utilizadas (Cuadro 1), muestran que la PF cumple con los requerimientos para la alimentación de las tilapias tomando en cuenta las especificaciones mencionadas por Hilton (1983), quien dice que las tilapias con peso de 0.5 a 10 g requieren alimentos con 30-45% de proteína para su crecimiento. Sin embargo, en la sobrevivencia de los alevines se obtuvo una diferencia de 40% entre PF y AC (Figura 1), lo que indica que existe un componente de la PF que afectó la sobrevivencia de los alevines, de igual manera el tamaño y peso con respecto al AC (Figuras 2 y 3). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Puello-Cruz et al. (2013), quienes encontraron una sobrevivencia mayor (73.3 a 83.3%), mayor ganancia en peso y talla (11-16.3 g y 8.7-9.3 cm, respectivamente). Los autores sustituyeron el aceite de pescado por aceite de *J. curcas* y, mencionan que a mayor concentración de harina de *J. curcas* hay baja sobrevivencia y que con un 25% de sustitución de aceite de pescado por aceite de *J. curcas* hay mayor sobrevivencia. Por otro lado, García-Urías (2012) señala que con harina de *J. curcas*

tratada con hexano, presenta 38.9% de mortandad, por lo que sugiere incluir la pasta de harina de *J. curcas* hasta 25%. Nuestro estudio incluyó la extracción del aceite con hexano y 100% de harina de *J. curcas* y la fermentación con *Penicillium* sp. CDCU-3 y *Nigrospora* sp. CHIC-1 reportado previamente (Flores-Chilel et al., 2020).

La digestibilidad del contenido proteico de las pastas coincide con lo reportado con otros autores donde señalan que la pasta desengrasada concentra la proteína. La digestibilidad aparente de materia seca (CDMS) y de proteína (CADP) son dos parámetros indicativos de la cantidad de materia seca y proteína del alimento que son digeridas y absorbidas por los organismos (Brunson et al., 1997). En este sentido, en la CDAP durante la etapa de alevines se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre diferentes nutrientes en las diferentes dietas, aunque los valores encontrados del 80%, son relativamente bajos en comparación con los obtenidos por Jimoh et al. (2010), aunque ellos utilizaron *Cannavalia ensiformis*. Silva et al. (2013) también obtuvieron valores más altos en los CDAP con diferentes ingredientes. Puello-Cruz et al. (2013) encontraron que el CDA con harina de *Jatropha* sin proceso térmico o purificación varió desde 61% hasta un 80.4%. Algunos autores señalan que la calidad de la proteína de los ingredientes es el principal factor que afecta el rendimiento y su digestibilidad. La pequeña variación observada puede atribuirse a diferencias en las metodologías empleadas para la determinación de los coeficientes, la variabilidad de nutrientes, así como diferencias en el procesamiento de nutrientes, procesamiento de las dietas, la metodología experimental, tamaño de los peces y técnica de muestreo de heces (Jaucey et al., 1983).

En la etapa de juveniles, se encontró 52% de sobrevivencia, en contraste con lo reportado por García-Urías (2012) donde reporta 98% en el crecimiento y un peso máximo de 10 g con la harina de *J. curcas* al 50%, siendo esta la concentración recomendada. Puello-Cruz et al. (2013) reportan sobrevivencias de juveniles entre 90 y 100%, con mezclas de harina (15, 65 y 90%) y aceite (25 y 100%) de *J. curcas* y harina (10, 35, 85%) y aceite (75 y 100%) de pescado; encontraron que hay mayor ganancia de peso y talla en los tratamientos donde hay menos del 65% de harina de *J. curcas*, esto se lo atribuyeron al proceso de masculinización y el tratamiento térmico que le dieron a la harina. En nuestro estudio se utilizó 100% de PF adicionado con aceite de pescado. García-Urías (2012) midió el factor de conversión alimenticia en bioensayo de juveniles de tilapia mostrando que la harina de *J. curcas* obtuvo el mayor factor de conversión alimentaria.

De Barros et al. (2011) señalan que los hongos de pudrición blanca ayudan a disminuir la concentración de los esteres de forbol de *J. curcas*, que podrían ser utilizados potencialmente como un enfoque para el tratamiento de la harina de semillas oleaginosas. De manera similar, nosotros aquí reportamos que las cepas *Penicillium* sp. CDCU-3 y *Nigrospora* sp. CHIC-1 tienen capacidad para detoxificar la pasta residual

obtenida del proceso de extracción de aceite de las semillas de dicha planta. Lo anterior se demuestra en la etapa juvenil donde la PF no afectó el crecimiento de los peces.

La digestibilidad de los ingredientes en la alimentación se considera uno de los factores más importantes que afectan el crecimiento de los peces (De Silva et al., 1995). El coeficiente de digestibilidad de la proteína bruta del alimento basado en harina de pescado tuvo 85.2% de digestibilidad de proteína, y el CDAP en la etapa juvenil, no presentó diferencias significativas tanto en AC y PF ($P > 0.05$), ya que en ambos casos presentaron un valor del 90%. Puello-Cruz et al. (2013) observaron como el tratamiento térmico aumentó la CDA (77.89 a 83.43% vs 61.1 a 80.4%) con respecto al tratamiento no térmico usado y señalan que el aceite de *J. curcas* puede sustituir al aceite de pescado sin presentar diferencias estadísticas. El diferencial del CDMS entre los tratamientos establecidos en el presente estudio puede deberse a la naturaleza de la harina de *J. curcas* la cual contiene menos carbohidratos.

4. Conclusión

La harina de *Jatropha curcas* fermentada con hongos *Penicillium* sp. CDCU-3 y *Nigrospora* sp. CHIC-1, no fue digerible por alevines de tilapia nilótica, sin embargo, en la etapa de juveniles, la digestibilidad de proteínas fue muy similar al alimento convencional. Lo anterior indica que puede utilizarse como sustituto de la harina de pescado en esta etapa. Se recomienda realizar otros estudios con diferentes porcentajes de inclusión de la pasta fermentada y la pasta no fermentada, así como la posibilidad de realizar la incorporación de diferentes porcentajes del aceite de *Jatropha curcas*. Puede también evaluarse el proceso térmico (cocción) de las harinas para aumentar la disponibilidad de nutriente y la eliminación de elementos no nutricios.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias

- Anderson RA, Conway HF, Griffin EL. 1969. Gelatinization of corn grits by role and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14: 11-12.
- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis; Association of Official Analytical Chemists: Arlington, VA, USA.
- Bremer-Neto H, Graner CAF, Pezzato LE, Padovani CR. 2005. The spectrophotometric method on the routine of 1,5-diphenylcarbazine was adjusted on chromium determination in feces, after its utilization has a biological marker as chromium (III) oxide. *Ciencia Rural* 35: 691-697.
- Brunson JF, Romaine RP, Reihg RC. 1997. Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. *Aquaculture Nutrition* 3: 9-16.
- Cuevas-Rodríguez EO, Verdugo-Montoya NM, Angulo-Bejarano PI, Milán-Carrillo J, Mora-Escobedo R, Bello-Pérez LA, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C. 2006. Nutritional properties of tempeh flour from quality protein maize (*Zea mays* L.) *LWT* 39: 1072-1079.
- Devappa RK, Makkar HP, Becker K. 2012. Phytochemicals in *Jatropha* seeds and potential agro-pharmaceutical applications of *Jatropha curcas* phorbol esters in *Jatropha*. In: Carels N, Sujatha M, Bahadur B. (Eds). *Challenges for a New Energy Crop*. Springer, New York. Pp. 383-402.
- Dharma S, Masjuki HH, Ong HC, Sebayang AH, Silitonga AS, Kusumo F, Mahlia TMI. 2016. Optimization of biodiesel production process for mixed *Jatropha curcas*-*Ceiba pentandra* biodiesel using response surface methodology. *Energy Conversion and Management* 115: 178-190.
- De Silva SS, Anderson TA. 1994. *Fish Nutrition in Aquaculture* (Vol. 1). Springer Science & Business Media. 319 p.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- Flores-Chilel TJ, Adriano-Anaya ML, Ovando-Medina I, Ruiz-González S. 2020. Detoxificación de la torta residual de *Jatropha curcas* L. mediante hongos endófitos. *IBCENCIAS* 3(1): 7-16.
- Furukawa H, Tsukahara 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. *Nippon Suisan Gakkaishi* 32: 502-506.
- García-Urías EG. 2012. Ensilado de pescado adicionado con pasta de *Jatropha curcas* no tóxica como alternativa para la alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Sinaloa, México.
- Hilton JW. 1983. Potential of freeze-dried worm meal as a replacement for fish meal in trout diet formulations. *Aquaculture* 32: 277-283.
- James CS. 1999. *Analytical Chemistry of Foods*. Second Edition, ASPEN Publishers. New York.
- Jaucey K, Tacon G, Jacson AJ. 1983. The quantitative essential amino acid requirements of *Oreochromis mossambicus*. In: Fishelson L, Yaron Z. (Eds). *International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. 1st Proceedings, Nazareth, Israel. Tel Aviv University, Israel. Pp. 328-337.
- Jimoh WA, Fagbenro OA, Adeparusi EO. 2010. Digestibility coefficients of processed jackbean meal *Cannavalia ensiformis* (L.) DC for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) diets. *International Journal of Fisheries and Aquaculture* 2(4): 102-107.
- Kumar A, Sharma S. 2008. Evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.). A review. *Industrial Crops and Products* 28: 1-10.
- López CA, Gil A, Bello J. 2006. Alimentos con sustancias tóxicas de origen natural: Plantas superiores alimenticias. In: Cameán A, Repetto M. (Eds). *Toxicología Alimentaria* 1st ed. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, Spain. Pp. 191-210.
- Lowry OH, Roserbrough NJ, Farr AL, Randall RJ. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193: 265-275.
- Makkar HPS, Becker K, Sporer F, Wink M. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 3152-3157.

- Martínez J, Martínez AL, Makkar HPS, Francis G, Becker K. 2010. Agroclimatic conditions, chemical and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *European Journal of Scientific Research* 39: 396-407.
- Ovando-Medina I, Adriano-Anaya ML, Salvador-Figueroa M. 2016. El Piñón (*Jatropha curcas* L.): Recurso vegetal de usos múltiples. Trillas, México.
- Paredes-López O, Harry GL, González-Castañeda J. 1991. Sensory evaluation of tempeh produced by fermentation of common beans. *Journal of Food Science* 55: 123-126.
- Phengnuam T, Suntornsuk W. 2013. Detoxification and anti-nutrients reduction of *Jatropha curcas* by *Bacillus* fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 115(2): 168-172.
- Puello-Cruz AC, Ordoñez-Rosas ML, García-Ortega A, Angulo-Escalante MA, Almazán-Rueda P, Domínguez-Jiménez VP. 2013. Biochemical composition and evaluation of *Jatropha curcas* meal as a replacement for fishmeal in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21: 273-282.
- Reyes-Fernández P, López-Martínez FJ, Mejía-Vázquez C, Mendoza-Díaz S, Reynoso-Camacho R, García-Gasca T. 2008. Contenido de compuestos fenólicos en extractos de harina de frijol cocido y evaluación de su efecto citotóxico en células de cáncer de mama. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Rodríguez-Calle R, Suárez-Hernández J, Támara-Hernández Y. 2016. Caracterización de la torta obtenida del prensado del fruto de *Jatropha curcas*. *Pastos y Forrajes* 39: 72-75.
- Silva A, Cuzón G, Gaxiola G. 2013. Requerimientos de proteína y energía en juveniles silvestres del mero rojo *Epinephelus morio*. En: Cruz-Suárez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Nieto-López MG, Villarreal-Cavazos DA, Gamboa-Delgado J, Alvarez-González C. (Eds). *Contribuciones Recientes en Alimentación y Nutrición Acuicola*, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. Pp. 521-531.
- Solomon SG, Okomoda VT, Torkor EF. 2016. Growth performance of *Clarias gariepinus* fingerlings fed *Jatropha curcas* kernel meal. *International Journal of Aquaculture* 6: 1-6.
- Veerabhadrapa MV, Shivakumar SB, Devappa S. 2014. Solid-state fermentation of *Jatropha* seed cake para optimization of lipase, protease, and detoxification of anti-nutrients in *Jatropha* seed cake using *Aspergillus versicolor* CJS-98. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 117(2): 208-214.
- Wang XH, Ou L, Fu LL, Zheng S, Lou JD, Gomes-Laranjo J, Li J, Zhang C. 2013. Detoxification of *Jatropha curcas* kernel cake by a novel *Streptomyces fomicarius* strain. *Journal of Hazardous Materials* 260: 238-246.
- Zhang X, Yang Z, Liang J, Tang L, Chen F. 2016. Detoxification of *Jatropha curcas* seed cake in solid fermentation of newly isolated endophytic strain and nutrition assessment for its potential utilizations. *International Biodeterioration and Biodegradation* 109: 202-210.