







## Propiedades nutrimentales de harina desgrasada y pretratada hidrotérmicamente de *Jatropha curcas* fermentada en estado sólido con *Saccharomyces cerevisiae*

## Nutritional properties of defatted and hydrothermally pretreated meal of *Jatropha curcas* fermented in solid-state with *Saccharomyces cerevisiae*

Medina-Rodelo, D.P.<sup>1</sup> , Quintana-Obregón, E.A.<sup>2</sup> , Angulo-Escalante, M.A.<sup>1</sup> ,  
Heredia, J. B.<sup>1</sup> , Puello-Cruz, A.C.<sup>3</sup> , Gutiérrez-Dorado, R. <sup>4\*</sup> 

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), subsección Culiacán, km 5.5 Carretera a Eldorado-Culiacán, Sinaloa, México, C.P. 80110, Culiacán, Sinaloa, México. <sup>2</sup> CONAHCYT- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), subsección de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Hermosillo, C.P. 83304, Hermosillo, Sonora, México. <sup>3</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), subsección Mazatlán, Av. Sábalo Cerritos S/N, S/C, Mazatlán C.P. 82112, Mazatlán, Sinaloa, México. <sup>4</sup> Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Calle Josefa Ortiz de Domínguez, esq. Blvd. de las Américas, Cd. Universitaria, C.P. 80013, Culiacán Rosales, Sinaloa, México.



**Please cite this article as/Como citar este artículo:** Medina-Rodelo, D.P., Quintana-Obregón, E.A., Angulo-Escalante, M.A., Heredia, J. B., Puello-Cruz, A.C., Gutiérrez-Dorado, R. (2025). Nutritional properties of defatted and hydrothermally pretreated meal of *Jatropha curcas* fermented in solid-state with *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Bio Ciencias* 12 (nesp): 4to Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria (ANICA), e1692. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.nesp.e1692>

### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: July 13<sup>th</sup> 2024.

Accepted/Aceptado: December 30<sup>th</sup> 2024.

Available on line/Publicado: March 04<sup>th</sup> 2025.

### RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de la fermentación en estado sólido sobre las propiedades nutrimentales en harina desgrasada de *Jatropha curcas*, con y sin aplicación de tratamiento hidrotérmico, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* ( $6 \times 10^9$  CFU/g) e incubación durante 24, 72 y 144 h a 36 °C. El contenido de antinutrientes se determinó por métodos espectrofotométricos, por cromatografía de capa fina de alta resolución se evaluó el contenido de ésteres de forbol y la composición nutrimental por análisis proximal. Se empleó un diseño bifactorial (tipo de tratamiento y tiempo de fermentación) con variables de respuesta contenido de fitatos, saponinas, ésteres de forbol y contenido nutrimental. La harina que tuvo las características de nuestro interés fue la que solamente se fermentó por 144 h sin tratamiento hidrotérmico debido a que presentó una reducción significativa del 74 % de fitatos, 51 % de saponinas, además de que no se detectaron ésteres de forbol. El contenido de proteínas (44.50 %) no tuvo cambios significativos. Además, se observaron disminuciones entre el 8 – 15 %, 28 – 44 % y 1.6 – 7 % en el contenido de grasa, fibra y carbohidratos, respectivamente. Por lo tanto, se recomienda esta harina fermentada para implementarse en dietas balanceadas para *Oreochromis niloticus*.

**PALABRAS CLAVE:** *Jatropha*, Fermentación, Hidrotérmico, Levadura, Alimento para peces.

### \*Corresponding Author:

Gutiérrez-Dorado, R. Facultad de Ciencias Químico - Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle Josefa Ortiz de Domínguez, esq. Blvd. de las Américas, Cd. Universitaria, C.P. 80013 Culiacán Rosales, Sinaloa, México. Teléfono: (667) 713 7860. E-mail: [rgutierrez@uas.edu.mx](mailto:rgutierrez@uas.edu.mx)

---

## ABSTRACT

---

In this research, the effect of solid-state fermentation on the nutritional properties of defatted *Jatropha curcas* meal was evaluated, with and without hydrothermal treatment application, using *Saccharomyces cerevisiae* ( $6 \times 10^9$  CFU/g), and incubating for 24, 72, and 144 h at 36 °C. The antinutrient content was determined by spectrophotometric methods; the phorbol esters content was evaluated by high-resolution thin layer chromatography; and the nutritional composition was evaluated by proximal analysis. A two-factor (type of treatment and fermentation time) design was used. The response variables were the content of phytates, saponins, phorbol esters, and nutritional content. The meal that had the characteristics of our interest was the one fermented for 144 h without hydrothermal treatment because it presented a significant reduction of 74 % of phytates, and 51 % of saponins, in addition to the fact that no phorbol esters were detected. The protein content (44.50 %) did not have significant changes. Additionally, decreases of 8-15 %, 28-44 %, and 1.6-7 % in fat, fiber, and carbohydrate content, respectively, were observed. Therefore, this fermented meal is recommended to be implemented in balanced diets for *Oreochromis niloticus*.

---

**KEY WORDS:** *Jatropha*, Fermentation, Hydrothermal, Yeast, Fish food.

---

## Introducción

Los ingredientes vegetales han demostrado ser apropiados para la formulación de alimentos para peces, destacando las pastas oleaginosas. El uso de proteínas vegetales se ha investigado para diversas especies comerciales de peces, ya que estas fuentes alimenticias ofrecen un alto contenido de proteínas, aminoácidos y ácidos grasos en comparación con las de origen animal (Mondal & Payra, 2015). Sin embargo, la utilización de harina de oleaginosas en los alimentos acuícolas se ve limitada por el bajo contenido de aminoácidos esenciales y la presencia de factores antinutricionales (Ghosh & Mandal, 2015). Debido a la expansión de la actividad acuícola, surge la necesidad de buscar alternativas de fuentes de proteína de origen vegetal para la sustitución de la harina de pescado en la elaboración de dietas acuícolas (Moss *et al.*, 2019). El uso de la harina de pescado en las dietas aumenta la calidad y el crecimiento acelerado debido a su palatabilidad, mejor absorción, digestión y captación de nutrientes (Hodar *et al.*, 2020). El consumo de pescado ha aumentado desde un 5.2 kg per cápita en 1961 a 19.4 kg en 2017, dando una tasa anual de crecimiento promedio del 2.4 % (FAO, 2020). Por esta razón, es importante tener una alternativa para poder sustituir parcialmente la harina de pescado con harinas de origen vegetal como lo es *Jatropha curcas*.

*Jatropha curcas*, es una planta nativa de México y América continental (Achten *et al.*, 2010), localizada en climas tropicales y semitropicales, es resistente a altas temperaturas (da Schio, 2010; Makkar & Becker, 2009). Esta planta se considera como una oleaginosa por su alto contenido de aceite, oscilando al menos en un 50 % de aceite presente, teniendo un alto potencial para la producción de biodiesel (Gomes *et al.*, 2018). La harina que se obtiene después de la extracción de aceite es considerada rica en nutrientes, en específico por su alto contenido en proteína. Sin embargo, la presencia de compuestos tóxicos y antinutricionales en *Jatropha* cruda limita su uso en dietas para la alimentación de diferentes especies animal (Abasubong *et al.*, 2023). Por lo que, es necesario aplicar un proceso de desintoxicación, como lo es la fermentación en estado sólido (SSF). Debido a un bajo costo de producción y un alto valor nutricional, se puede considerar a los residuos agroindustriales de semillas oleaginosas sustratos adecuados para la fermentación (Dharmakar *et al.*, 2022).

La fermentación en estado sólido (SSF) es un proceso microbiano que implica la descomposición y transformación de compuestos tóxicos en productos que favorecen el crecimiento de microorganismos (Krishna 2005; Lizardi-Jiménez & Hernández-Martínez 2017). Además, se ha reportado que el uso de una proteína vegetal fermentada con *Saccharomyces cerevisiae* no presenta efectos negativos en el crecimiento, inmunidad y resistencia al estrés en varias especies de peces (Hassaan *et al.*, 2015; Plaipetch & Yakupitiyage, 2014; Soltan *et al.*, 2015). Asimismo, *S. cerevisiae* es una levadura con un mecanismo similar a los probióticos debido a que incrementa la secreción de enzimas extracelulares, proteasas y amilasas, además de una mejora en la digestibilidad de los nutrientes, observándose un incremento del crecimiento y eficiencia alimenticia en el caso de las tilapias del Nilo (Ahmadifar *et al.*, 2020; Van-Doan *et al.*, 2020).

El objetivo del presente estudio es caracterizar harina de *J. curcas* desgrasada fermentada en estado sólido con *S. cerevisiae*, con y sin la aplicación de un pretratamiento hidrotérmico. Los resultados obtenidos de este trabajo se pueden utilizar para la implementación de harina de *J. curcas* desgrasada fermentada en la elaboración de alimentos acuícolas balanceados, en específico para las tilapias del Nilo.

## Material y Métodos

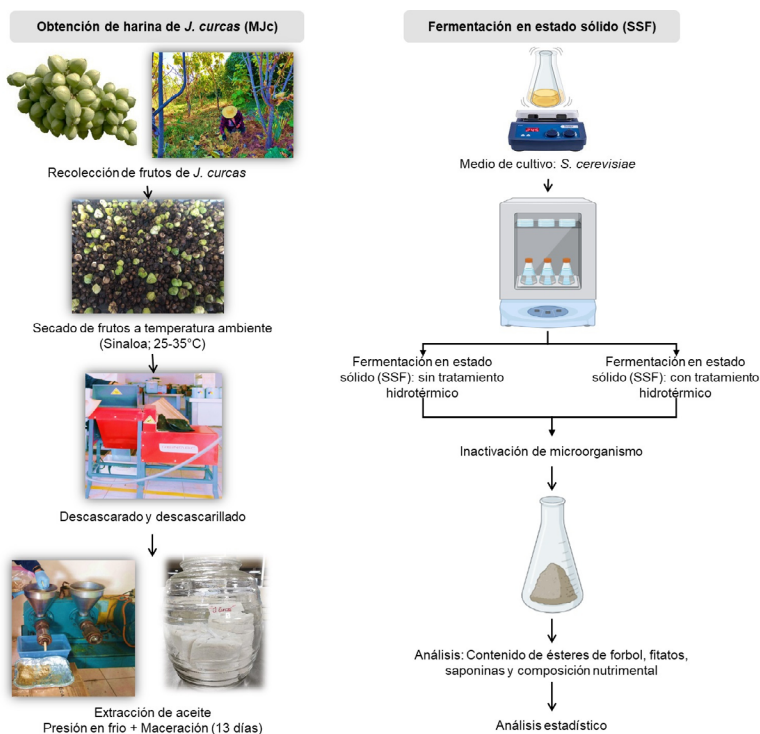
### Preparación de muestra

Los frutos de *J. curcas* se recolectaron en el Ejido de la Campana (24° 53'52.3" N; 107° 27' 18.3" W y 94 masl) en Culiacán, Sinaloa, México durante los meses de septiembre del 2021 a enero del 2022. Estos frutos se trasladaron al laboratorio de Biorecursos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) subsede Culiacán, Sinaloa, México. Posteriormente los frutos fueron secados a temperatura ambiente de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México (25 – 33 °C), para facilitar la remoción de la cáscara y la testa, para ello se utilizó una descascarilladora (REINMAC) y destestadora (REINMAC). Después se separó manualmente los restos de testa para obtener solamente el germen, de ahí se sometió al germen

en una prensa en frío (KOMET DD 85G) para una extracción parcial de aceite, en la cual se obtuvo una harina parcialmente desgrasada con un contenido de grasa de 58.96 %. Por último, se sometió a un proceso de maceración por 13 días con hexano en una relación (1:3) para retirar el aceite restante. Finalmente, se obtiene una harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) con 15.84 % de contenido de grasa y se colocó en una estufa (TERLAB) a 70 °C para evaporar el solvente restante por 5 horas y almacenó a 4 °C hasta su respectivo uso.

## Fermentación en estado sólido (SSF)

Se realizó la SSF siguiendo la metodología de Medina-Rodelo *et al.* (2023). A un lote de MJc se le aplicó un tratamiento hidrotérmico antes de la fermentación en estado sólido y se comparó con otro lote que solo se fermentó. Se colocaron 120 g de MJc en matraces Erlenmeyer de 500 mL, estos fueron inoculados con 19.5 mL de *S. cerevisiae* ( $6 \times 10^9$  CFU/g) y se agregó 72 mL de agua destilada (60 % de humedad). Por último, se homogenizó manualmente para sellar la boquilla con un airlock. Las muestras fueron incubadas (Incubador IC603CW, Yamato) a 36 °C por 24, 72 y 144 h. Finalmente, una vez cumplido el tiempo de incubación, las muestras se trasladaron a una estufa (TERLAB) a 65 °C por 24 h para detener el crecimiento microbiano. El experimento se realizó por duplicado (Figura 1).



**Figura 1. Esquema general del trabajo de investigación: obtención de harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) y proceso de fermentación en estado sólido y análisis correspondientes.**

## Cuantificación de ésteres de forbol

Siguiendo la metodología modificada de Makkar *et al.* (2007) y Devappa *et al.* (2013), se pesó 1 g de cada muestra y se le agregó 10 mL de metanol grado HPLC con 99.9 % de pureza (SIGMA Aldrich) y se colocaron en un baño ultrasónico (Modelo 2800 Branson) a 240 W por 25 min a 15 °C. Posteriormente se tomó el sobrenadante y se filtró con papel filtro (Whatman núm. 40) en un matraz bola de 250 mL y se llevó a evaporación a sequedad (Mod R-215 Buchi). Después se agregó 1 mL de metanol y se llevó a sonicación por 2 min, por último, la muestra se filtró con un acrodisco (Millex) de 0.45 µm y se recolectó en un vial ámbar. Para el análisis por Cromatografía de Capa Fina de Alta Resolución (HPTLC) se utilizó un aplicador semiautomático [Limonat 5, CAMAG (cámara cromatográfica)], se inyectó 6 µL de muestra en placas de aluminio TLC Silica Gel 60 F254 de 20 x10 cm en bandas de 85 mm de longitud. Las placas fueron colocadas en una cámara cromatográfica (CAMAG), previamente saturada por 20 min, con una fase móvil de acetona-éter de petróleo 4:6 (v/v). Las placas fueron visualizadas en una cámara de luz UV (Cabinet 4, CAMAG) a 254 y 366 nm. Posteriormente se realizó un escaneo densitométrico con un escáner de TLC (TLC Scanner 4, CAMAG) con una absorbancia de longitud de onda de 280 nm con lámpara de deuterio y tungsteno. La concentración de PE se calculó con una curva de calibración del compuesto forbol-12-miristato-13-acetato (PMA), que se considera como un estándar, utilizada por Medina-Rodelo *et al.* (2023). Finalmente, se llevó a cabo una derivatización con el reactivo de Liebermann (solución de vainillina-ácido sulfúrico).

## Determinación de fitatos

Siguiendo el método de espectrofotometría de Vaintraub & Lapteva (1988) con modificaciones, se pesó 0.5 g de cada muestra, se agregó 10 mL de HCl 3.5 % y se agitó por 1 h en placa de agitación (DLAB, Modelo SK-D1807-S), posteriormente se centrifugó (Hermle Labortechnik, Thermo Scientific, Germany) a 3400 rpm por 10 min. Se tomó 200 µL del sobrenadante de cada muestra, se le agregó 2800 µL de agua destilada y 1 mL de reactivo Wade. La concentración de fitatos se determinó por espectrofotometría a 500 nm, utilizando una curva de calibración de una solución patrón de fitato de sodio (SIGMA Aldrich) (160 µg/mL). Los resultados se reportaron µg de ácido fítico/g de muestra seca.

## Determinación de saponinas

Siguiendo la metodología de Hiai *et al.* (1976) con modificaciones, se tomó 0.5 g de muestra, se le añadió 10 mL de metanol (99.8 % de pureza, SIGMA Aldrich) acuoso al 80 %, se agitó por 12 h en una placa de agitación (DLAB, Modelo SK-D1807-S). Después se centrifugó (Hermle Labortechnik, Thermo Scientific, Germany) por 10 min a 10,000 rpm. Se recolectó el sobrenadante y el precipitado se suspendió nuevamente con metanol acuoso al 80 %, se repitió tres veces los pasos anteriores, al final se obtuvo un volumen de 25 mL del sobrenadante. Se tomaron 200 µL de muestra y se agregó 50 µL de metanol al 80 % y 125 µL de reactivo de vainillina al 8 % (SIGMA Aldrich), después en un baño de hielo se agregó lentamente 2500 µL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (SIGMA Aldrich) al 72 %, posteriormente las muestras se agitaron en un vortex (VORTEX-

GENIE 2, Scientific Industries) por 3 min. Por último, las muestras se calentaron en una tina a 60 °C por 10 min. La concentración de saponinas se determinó por espectrofotometría a 544 nm, se usó una curva de calibración de diosgenina. Los resultados se reportaron en µg equivalentes de diosgenina/g de muestra.

## Composición nutrimental

Siguiendo la metodología de la AOAC (2001) se determinó el contenido nutrimental de las muestras (cenizas, fibra cruda, grasa y proteína cruda). El contenido de carbohidratos se estimó por diferencia (100 – Σ datos obtenidos de proximales).

## Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de dos factores (tiempo de fermentación y tipo de tratamiento) con tres niveles de fermentación (24, 72 y 144 h) y dos niveles del tipo de tratamiento (sin tratamiento y con tratamiento hidrotérmico) de los cuales se derivaron seis tratamientos de la combinación de los niveles de los factores y las variables de respuesta fueron el contenido de fitatos, saponinas, ésteres de forbol y composición nutrimental. Se realizó un ANOVA de dos factores, seguido de una comparación de medias mediante una prueba de Tukey con  $\alpha = 0.05$  y una prueba de Dunnett con  $p \leq 0.05$  para comparar con la muestra control de harina de *Jatropha curcas* cruda (sin procesar). El experimento se llevó a cabo por duplicado y se utilizó el software MINITAB 18.0 para el análisis estadístico de datos.

## Resultados y Discusión

### Efecto de la fermentación en los ésteres de forbol en MJc

Los resultados del efecto de la SSF en el contenido de ésteres de forbol (PE) en MJc fermentada con tratamiento hidrotérmico y la MJc que solo se fermentó se puede observar en las **Tablas 1 y 2**, en donde se muestran los factores de retención (Rf) de las muestras, los cuales oscilaron desde 0.234 – 0.826 y 0.108 - 0.786. Makkar *et al.* (1997) reportaron que los PE están presentes en *J. curcas* en Rf que se encuentren en un rango de 0.42 a 0.55. Además, Medina-Rodelo *et al.* (2023) mencionan que el Forbol-12-miristato-13-acetato (PMA) se presenta con un Rf de 0.54. Los cromatogramas de las muestras se ilustran en las **Figuras 2 y 3** demostrando la ausencia de los PE. Por lo tanto, el Rf de nuestras muestras, al no caer en los rangos mencionados de los Rf para PE, podemos concluir que no hay detección de dichos PE bajo las condiciones cromatográficas utilizadas.

**Tabla 1. Perfil cromatográfico de muestras de harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) sin tratamiento hidrotérmico.**

Figura	Pico	Rf	Área	Sustancia
Figura 2a)	1	0.549	0.00551	PMA
Figura 2b)	1	0.234	0.00082	ND
	2	0.826	0.00572	ND
Figura 2c)	1	0.210	0.00050	ND
Figura 2d)	1	0.204	0.00122	ND

Rf: Factor de retención, PMA: Forbol-12-Miristato-13-acetato, ND: No detectado

**Tabla 2. Perfil cromatográfico de muestras de harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) con tratamiento hidrotérmico.**

Figura	Pico	Rf	Área	Substance
Figura 3a)	1	0.549	0.00551	PMA
Figura 3b)	1	0.108	0.00551	ND
	2	0.328	0.00232	ND
	3	0.786	0.00136	ND
Figura 3c)	1	0.116	0.00466	ND
	2	0.269	0.00243	ND
Figura 3d)	1	0.111	0.00388	ND
	2	0.261	0.00219	ND

Rf: Factor de retención, PMA: Forbol-12-Miristato-13-acetato, ND: No detectado

### Efecto de la fermentación en fitatos de MJc

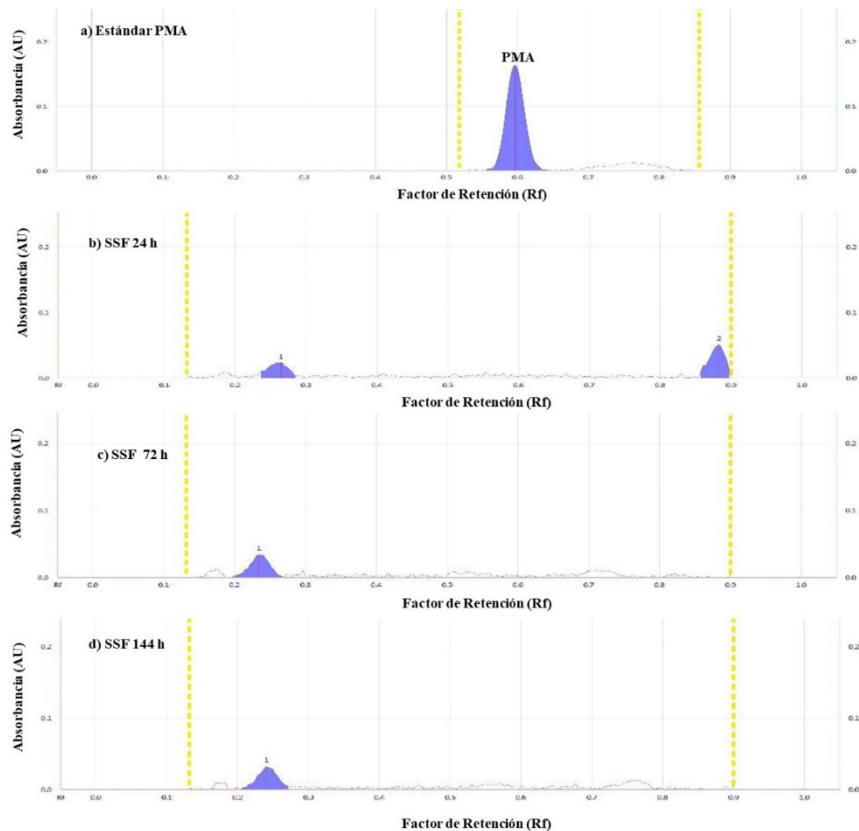
El contenido de fitatos en la MJc cruda (sin procesar) fue de 374.96  $\mu\text{g}$  de ácido fítico/g de harina. En la **Figura 4** se puede observar que se presenta una disminución de este compuesto entre 16 al 74 % una vez que se somete a la fermentación la MJc; en cambio, al lote de la MJc que se le aplicó el tratamiento hidrotérmico junto con la SSF presentó una reducción de fitatos entre 55 a 59 %, por lo tanto, la SSF se considera un proceso efectivo para la degradación de este compuesto. Tanasković *et al.* (2021) utilizaron harina de salvado de trigo en una SSF, encontrando que, a medida que aumentaba el tiempo de fermentación se presentó una disminución de este compuesto, obteniendo una degradación final del 34 %. En cambio, Olukomaiya *et al.* (2020) fermentaron harina de canola con especies del género *Aspergillus*, obteniendo una reducción significativa en el contenido de fitatos, esto se debe al efecto de

la SSF porque aumenta la actividad de enzimas como la fitasa. Terefe *et al.* (2021) utilizaron harina de maíz para SSF con microorganismos de *Lactobacillus plantarum* y *Saccharomyces cerevisiae*; a diferencia de nuestro trabajo, ellos realizaron la SSF en períodos más cortos (12, 24, 36 y 48 h), teniendo como resultado una degradación aproximada del 67 %. En el caso de nuestro trabajo se utilizó una temperatura de 36 °C durante la SSF, favoreciendo la producción de fitasas, dado que la fitasa es capaz de producirse de manera natural (fitasa endógena) o por microorganismos (fitasa exógena) en un rango de temperatura de 35 hasta 45 °C (Sindhu & Khetarpaul, 2001). Por lo tanto, la SSF con *S. cerevisiae* puede llegar a producir enzimas de fitasas la cual participa en la acción de las fosfatasa ácidas represibles, las cuales son secretadas por las células de la levadura permitiendo la hidrólisis de los fitatos (Haraldsson *et al.*, 2005). Además, la presencia de las fitasas permite la biodisponibilidad de minerales (Vásquez-Villalobos *et al.*, 2019).

### **Efecto de la fermentación en saponinas de MJc**

En el contenido de saponinas para la muestra de la MJc cruda (sin procesar) es de 1594.04 µg equivalentes de diosgenina/g de harina. En la **Figura 5** se observa la disminución de saponinas en la MJc independientemente si se aplica o no el tratamiento hidrotérmico, obteniendo una disminución entre 49 a 51 % en la MJc que solo se fermentó, mientras que la MJc que se le aplicó el tratamiento hidrotérmico fue de 82 a 96 %. Sharath *et al.* (2014) fermentaron harina de *J. curcas* desgrasada, en donde observaron una degradación de saponinas a medida que pasaba el tiempo de fermentación, después de seis días de fermentación se alcanzó una disminución del 96 % utilizando *Rhizopus oryzae* y *Cunninghamella echinulata*. En cambio, Adedayo & Sani (2019) realizaron una SSF en harina de semilla de *Adansonia digitata*, en donde, ellos encontraron una disminución significativa en el contenido de saponinas. Además, es importante recalcar que las saponinas tienen una característica en su sabor debido a que es amargo, provocando una baja preferencia de los alimentos que se consumen (Ocampo *et al.*, 2015).



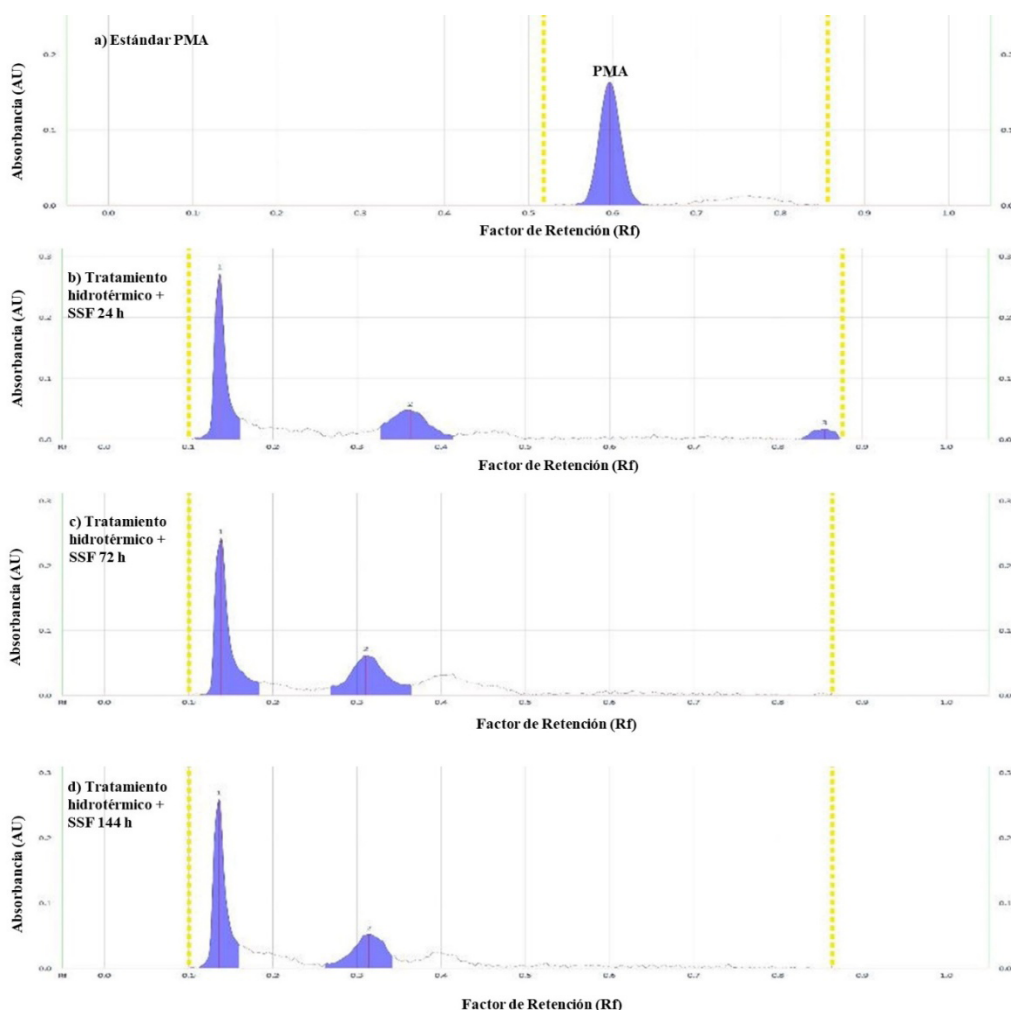


**Figura 2. Cromatogramas HPTLC:**

a) Forbol-12-miristato-13-acetato (PMA); b) harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) sin tratamiento hidrotérmico fermentada durante 24 h; c) harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) sin tratamiento hidrotérmico fermentada durante 72 h; d) harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) sin tratamiento hidrotérmico fermentada durante 144 h.

### Efecto de la fermentación en el contenido nutrimental de MJc

La MJc cruda presentó un contenido de proteína, grasas, cenizas, fibra cruda y carbohidratos de  $40.43 \pm 0.22$  %,  $15.84 \pm 0.99$  %,  $10.07 \pm 0.01$  %,  $9.29 \pm 0.21$  %,  $24.37 \pm 0.86$  %, respectivamente. El contenido de proteína fue más bajo que el reportado por Martínez-Herrera *et al.* (2006), el cual fue desde 62 hasta 65 %, mientras que el contenido de fibra cruda y cenizas es mayor a lo reportado por ellos (3.9 a 4.5 % y 4.9 a 8.8 %, respectivamente).

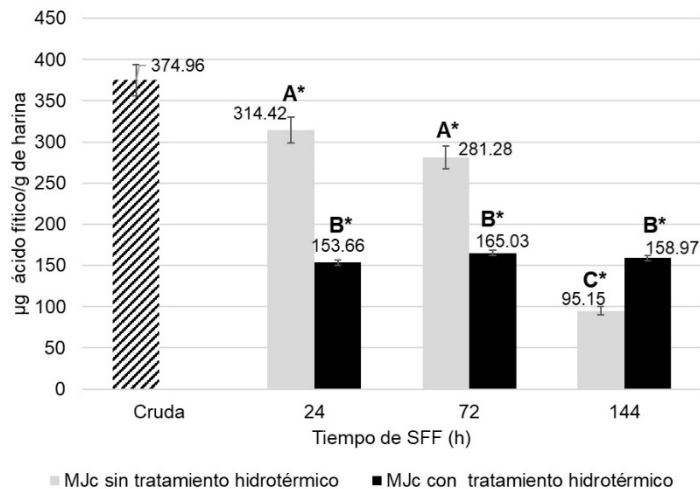


**Figura 3. Cromatogramas HPTLC:**

**a) Forbol-12-miristato-13-acetato (PMA); b) harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) con tratamiento hidrotérmico fermentada durante 24 h; c) harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) con tratamiento hidrotérmico fermentada durante 72 h; d) harina de *J. curcas* desgrasada (MJc) con tratamiento hidrotérmico fermentada durante 144 h.**

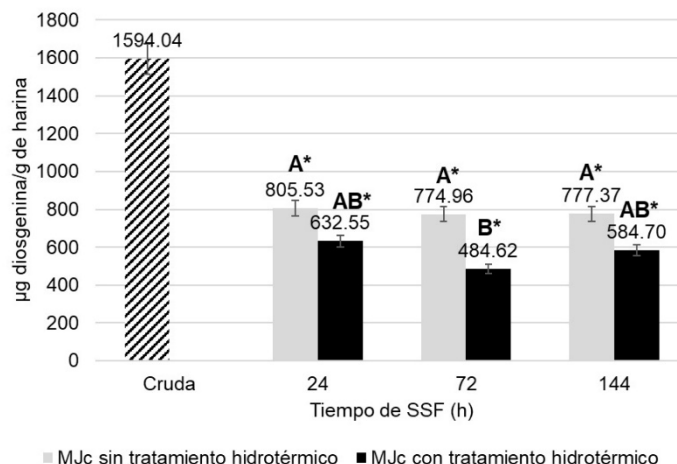
El efecto en el contenido nutricional por la fermentación con y sin tratamiento hidrotérmico en la MJc se puede observar en la **Tabla 3**. En el contenido de proteína de MJc no se observó diferencia significativa debido a la SSF, el tratamiento hidrotérmico o la combinación de ambos tratamientos, a diferencia de Darwish *et al.* (2012), quienes aplicaron SSF con *S. cerevisiae* en tallo de maíz, obteniendo un incremento del 7.5 % de proteína, en un periodo de 14 días

de fermentación. Además, el contenido final de proteína en nuestro trabajo osciló entre 41 a 44 %; este rango se encuentra dentro de lo recomendado (18-50 %) para utilizarse en un alimento balanceado para peces.



**Figura 4. Concentración de fitatos ( $\mu\text{g}$  de ácido fítico/g de harina) en harina de *J. curcas* desgrasada (MJc), con y sin tratamiento hidrotérmico, en diferentes momentos de fermentación.**

Los valores son medias  $\pm$  desviación estándar ( $n=2$ ). <sup>A, B, C</sup> Las medias con diferentes letras mayúsculas superíndice en las barras correspondientes son significativamente diferentes entre muestras con y sin tratamiento hidrotérmico (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). \*Medias que muestran diferencias significativas con MJc crudo (sin procesar) (Dunnett,  $p \leq 0.05$ ). MJc: harina de *J. curcas* desgrasada.



**Figura 5. Concentración de saponinas (µg equivalentes de diosgenina/g de harina) en harina desgrasada de *J. curcas* (MJc), con y sin tratamiento hidrotérmico, en diferentes momentos de fermentación.**

Los valores son medias  $\pm$  desviación estándar ( $n=2$ ). <sup>A, B</sup> Las medias con diferentes letras mayúsculas superíndice de en las barras correspondientes son significativamente diferentes entre muestras con y sin tratamiento hidrotérmico (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). \*Medias que muestran diferencias significativas con MJc crudo (sin procesar) (Dunnett,  $p \leq 0.05$ ). MJc: harina de *J. curcas* desgrasada.

En el contenido de grasa se presentó una disminución significativa por la aplicación de la SSF solo cuando la muestra no fue procesada previamente con el tratamiento hidrotérmico, obteniendo valores menores de grasa cruda en la MJc fermentada (13.45 a 14.59 %) que en la muestra cruda (15.84 %); mientras que, si se aplica el tratamiento hidrotérmico se presentó un incremento en el contenido de grasa (18.19 a 20.19 % en MJc fermentada vs 15.84 % en la muestra cruda). El tiempo de fermentación no tuvo efecto significativo sobre el contenido de grasa, tanto cuando se aplicó, como cuando no se aplicó tratamiento hidrotérmico.

En cambio, en el contenido de fibra cruda se presentó una disminución significativa por la aplicación de la SSF tanto cuando se trató, como cuando no se trató hidrotérmicamente la muestra, obteniendo valores menores de fibra cruda en la MJc fermentada (5.23 a 6.71 %; valores de la muestra fermentada independientemente de la aplicación del tratamiento hidrotérmico) que en la muestra cruda (9.29 %). Esta disminución en la fibra cruda durante la SSF se puede atribuir a la secreción de enzimas extracelulares que son capaces de degradar fibras, desde celulosa y hemicelulosa, con ayuda de un tratamiento fúngico (Darwish *et al.*, 2012; Rashad *et al.*, 2011). Al igual que en el contenido de grasa cruda, el tiempo de fermentación no tuvo efecto significativo sobre el contenido de fibra cruda, tanto cuando se aplicó, como cuando no se aplicó tratamiento hidrotérmico.

En el contenido de cenizas se presentó un comportamiento inverso que en el contenido de grasa cruda. En este nutrimento, se presentó un aumento significativo por la aplicación de la SSF solo cuando la muestra no fue procesada previamente con el tratamiento hidrotérmico, obteniendo valores mayores de cenizas en la MJc fermentada (12.33 a 12.66 %) que en la muestra cruda (10.07 %); mientras que, si se aplica el tratamiento hidrotérmico se presentó una pequeña disminución en el contenido de cenizas (9.22 a 9.37 % en MJc fermentada vs 10.07 % en la muestra cruda) solo en los tiempos de fermentación de 24 y 144 h. El tiempo de fermentación no tuvo efecto significativo sobre el contenido de cenizas cuando no se aplicó tratamiento hidrotérmico, mientras que, cuando se aplicó el tratamiento hidrotérmico, solo se presentó disminución de cenizas en los tiempos mencionados anteriormente. La razón de estos cambios en el contenido de cenizas se debe a que el tratamiento hidrotérmico permite que exista una liberación de minerales por lixiviación causando que sean disponibles para el microorganismo, ocasionando una disminución de este nutrimento, mientras que, en el caso de las muestras que solo se fermentaron no se presentó este fenómeno de liberación de minerales previo a la SSF.

Por último, en el contenido de carbohidratos se presentaron diferencias significativas entre los 6 tratamientos, no evidenciando un comportamiento o tendencia aparente debido a la SSF, el tratamiento hidrotérmico o la combinación de ambos tratamientos. Este comportamiento en carbohidratos puede deberse a que este nutrimento se calculó por diferencia del resto de nutrimentos. Sin embargo, a pesar de lo comentado anteriormente, se puede decir que en el contenido de carbohidratos se observó una disminución entre 6 a 8 % debido a la SSF, independientemente de la aplicación del tratamiento hidrotérmico. La causa de este comportamiento de disminución de carbohidratos se debe a que *Saccharomyces* cuenta con la capacidad de utilizar fracciones de hidrocarburos de entre 12 a 16 carbonos como fuente de energía (Csutak *et al.*, 2010).

**Tabla 3. Contenido nutrimental (% , ms) de harina desgrasada de *J. curcas* (MJc), con y sin tratamiento hidrotérmico en diferentes momentos de fermentación.**

Composición nutrimental	Sin tratamiento hidrotérmico			Con tratamiento hidrotérmico		
	Tiempo de SSF (h)			Tiempo de SSF (h)		
	24	72	144	24	72	144
Proteína cruda	41.82 ± 0.19 <sup>a</sup>	43.50 ± 0.12 <sup>a</sup>	44.50 ± 0.21 <sup>a</sup>	41.94 ± 0.20 <sup>a</sup>	41.80 ± 0.31 <sup>a</sup>	41.85 ± 0.20 <sup>a</sup>
Grasa cruda	14.59 ± 0.04 <sup>ab</sup>	14.45 ± 0.07 <sup>b</sup>	13.45 ± 0.30 <sup>a</sup>	19.79 ± 0.24 <sup>ab</sup>	20.19 ± 0.05 <sup>a</sup>	18.19 ± 0.07 <sup>ab</sup>
Cenizas	12.33 ± 0.07 <sup>a</sup>	12.66 ± 0.11 <sup>a</sup>	12.52 ± 0.01 <sup>a</sup>	9.22 ± 0.007 <sup>c</sup>	9.95 ± 0.02 <sup>b</sup>	9.37 ± 0.01 <sup>c</sup>
Fibra cruda	5.64 ± 0.94 <sup>a</sup>	6.71 ± 1.11 <sup>a</sup>	5.54 ± 0.92 <sup>a</sup>	5.23 ± 0.06 <sup>a</sup>	6.08 ± 0.25 <sup>a</sup>	6.30 ± 0.13 <sup>a</sup>
Carbohidratos	25.62 ± 0.21 <sup>ab</sup>	22.68 ± 0.78 <sup>a</sup>	23.98 ± 0.30 <sup>bc</sup>	23.83 ± 0.28 <sup>c</sup>	21.97 ± 0.35 <sup>c</sup>	24.29 ± 0.24 <sup>abc</sup>

Nota: Todos los valores son medias ± desviación estándar (n=2).

a, b, c Las medias con diferentes letras minúsculas en superíndice en la misma línea son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). MJc: harina de *J. curcas* desgrasada.

## Conclusiones

En este estudio se observaron los efectos de la fermentación en estado sólido (SSF) con *S. cerevisiae* y de la aplicación de un tratamiento hidrotérmico previo a la fermentación en harina desgrasada de *Jatropha curcas* (MJc). Después de una revisión de las variables de respuesta se concluye que la MJc que solamente se fermentó por 144 h sin tratamiento hidrotérmico es la harina de nuestro interés, debido a que se observó un mejoramiento en la composición nutrimental, en el cual se presentó una disminución en el contenido de grasa, fibra cruda y carbohidratos, en cambio para el contenido de proteína no se tuvieron cambios significativos que puedan afectar a la composición nutrimental. Además, no se detectó la presencia de esteres de forbol, y se obtuvo una baja concentración en los compuestos antinutricionales (fitatos y saponinas) en comparación con la MJc cruda (sin procesar). Por lo tanto, este trabajo abrió el panorama de los beneficios que tiene la aplicación de procesos biológicos en materiales vegetales, como lo es la MJc ya que tiene un importante potencial para utilizarse en la elaboración de alimento para tilapias del Nilo.

## Contribución de los autores

“Conceptualización del trabajo, Medina-Rodelo, D.P.; Gutiérrez-Dorado, R.; Angulo-Escalante, M.A.; desarrollo de la metodología, Medina-Rodelo, D.P.; Quintana-Obregón, E.A.; Gutiérrez-Dorado, R.; manejo de software, Medina-Rodelo, D.P.; Gutiérrez-Dorado, R.; validación

experimental, Medina-Rodelo, D.P.; Gutiérrez-Dorado, R.; análisis de resultados, Medina-Rodelo, D.P.; Gutiérrez-Dorado, R.; Manejo de datos, Medina-Rodelo, D.P.; Gutiérrez-Dorado, R.; escritura y preparación del manuscrito, Medina-Rodelo, D.P.; redacción, revisión y edición, Medina-Rodelo, D.P.; Quintana-Obregón, E.A.; Gutiérrez-Dorado, R.; Angulo-Escalante, M.A.; Heredia, J.B.; Puello-Cruz, A.C.; administrador de proyectos, Medina-Rodelo, D.P.; Quintana-Obregón, E.A.; Gutiérrez-Dorado, R.; Angulo-Escalante, M.A.; Heredia, J.B.; Puello-Cruz, A.C.; adquisición de fondos, Gutiérrez-Dorado, R.; Angulo-Escalante, M.A.”.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo”.

## Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

## Declaraciones éticas

No aplica

## Declaración de consentimiento informado

No aplica

## Agradecimientos

Al CONAHCyT por su financiamiento al otorgamiento de la beca a la estudiante de Doctorado en Ciencias Dulce Patricia Medina Rodelo. Al grupo de investigación de Biorecursos y Nutrición del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Subsede Culiacán.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias

Abasubong, K. P., Gabriel, N. N., Adjoumani, J. J. Y., Okon, A. O., Udo, M. T., Etim, A. A., & Desouky, H. E. (2023). A Dynamic Study of the influence of *Jatropha curcas* on Growth and Haematological Indices in Finfish. In *Emerging Sustainable Aquaculture Innovations in Africa, Singapore: Springer Nature Singapore*, 301-323. <https://doi.org/10.1007/978-981-19->

7451-9\_12

- Achten, W. M., Nielsen, L. R., Aerts, R., Lengkeek, A. G., Kjær, E. D., Trabucco, A., Hansen, J. K., Maes, W. H., Graudal, L., & Akinnifesi, F. K. (2010). Towards domestication of *Jatropha curcas*. *Biofuels*, 1(1), 91-107. <https://doi.org/10.4155/bfs.09.4>
- Adedayo, M. R., & Sani, A. (2019). Effect of solid state fungal fermentation on the chemical composition of *Adansonia digitata* seed. *Covenant Journal of Physical and Life Sciences*, 7(1), 11-28. (Special Edition). <https://journals.covenantuniversity.edu.ng/index.php/cjplsse/article/view/1359>
- Ahmadifar, E., Sadegh, T. H., Dawood, M. A., Dadar, M., & Sheikhzadeh, N. (2020). The effects of dietary *Pediococcus pentosaceus* on growth performance, hemato-immunological parameters and digestive enzyme activities of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 516, 734656. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734656>
- AOAC. (2001). Official Methods of Analysis AOAC International Methods 934.01, 988.05, 920.39 and 942.05. In: AOAC International Arlington, VA, USA.
- Csutak, O., Stoica, I., Ghindea, R., Tanase, A.M., & Vassu, T. (2010). Insights on yeast bioremediation processes. *Romanian Biotechnological Letters*, 15 (2), 5066-5071. [https://www.researchgate.net/publication/228910865\\_Insights\\_on\\_yeast\\_bioremediation\\_processes](https://www.researchgate.net/publication/228910865_Insights_on_yeast_bioremediation_processes)
- Darwish, G. A., Bakr, A., & Abdallah, M. (2012). Nutritional value upgrading of maize stalk by using *Pleurotus ostreatus* and *Saccharomyces cerevisiae* in solid state fermentation. *Annals of Agricultural Sciences*, 57(1), 47-51. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2012.03.005>
- da Schio, B. (2010). *Jatropha curcas* L., a potential bioenergy crop. On field research in Belize, M.Sc. dissertation. Padua University, Italy and Wageningen University and Research Centre, Plant Research International, the Netherlands. <https://docslib.org/doc/8708461/jatropha-curcas-l-a-potential-bioenergy-crop-on-field-research-in-belize>
- Devappa, R. K., Bingham, J.-P., & Khanal, S. K. (2013). High performance liquid chromatography method for rapid quantification of phorbol esters in *Jatropha curcas* seed. *Industrial Crops and Products*, 49, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.044>
- Dharmakar, P., Aanand, S., Kumar, J. S. S., Ande, M. P., Padmavathy, P., & Pereira, J. J. (2022). Solid-state fermentation of sunflower meal using commercial yeast for use as an improved nutrient source in aquafeed. *International Journal of Applied Research*, 8(3), 375-378. <https://doi.org/10.22271/allresearch.2022.v8.i3e.9590>
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Ghosh, K., & Mandal, S. (2015). Nutritional evaluation of groundnut oil cake in formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings after solid state fermentation with a tannase producing yeast, *Pichia kudriavzevii* (GU939629) isolated from fish gut. *Aquaculture Reports*, 2, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.08.006>
- Gomes, T. G., Hadi, S., Costa Alves, G. S., Mendonca, S., De Siqueira, F. G., & Miller, R. N. G. (2018). Current Strategies for the Detoxification of *Jatropha curcas* Seed Cake: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11), 2510-2522. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05691>
- Haraldsson, A. K., Veide, J., Andlid, T., Alminger, M. L., & Sandberg, A.-S. (2005). Degradation of



- phytate by high-phytase *Saccharomyces cerevisiae* strains during simulated gastrointestinal digestion. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 53 (13), 5438-5444. <https://doi.org/10.1021/jf0478399>
- Hassaan, M. S., Soltan, M. A., & Abdel-Moez, A. M. (2015). Nutritive value of soybean meal after solid state fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animal Feed Science and Technology*, 201, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.01.007>
- Hiai, S., Oura, H., & Nakajima, T. (1976). Color reaction of some saponins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica*, 29(02), 116-122. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1097639>
- Hodar, A.R., Vasava, R.J., Mahavadiya, D.R. y Joshi, N.H. (2020). Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. *Journal of Experimental Zoology India*, 23(1), 13-21. [https://www.researchgate.net/publication/338392541\\_FISH\\_MEAL\\_AND\\_FISH\\_OIL\\_REPLACEMENT\\_FOR\\_AQUA\\_FEED\\_FORMULATION\\_BY\\_USING\\_ALTERNATIVE\\_SOURCES\\_A\\_REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/338392541_FISH_MEAL_AND_FISH_OIL_REPLACEMENT_FOR_AQUA_FEED_FORMULATION_BY_USING_ALTERNATIVE_SOURCES_A_REVIEW)
- Krishna, C. (2005). Solid-state fermentation systems—an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(1-2), 1-30. <https://doi.org/10.1080/07388550590925383>
- Lizardi-Jiménez, M. A., & Hernández-Martínez, R. (2017). Solid state fermentation (SSF): diversity of applications to valorize waste and biomass. *3 Biotech*, 7(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0692-y>
- Makkar, H., Becker, K., Sporer, F., & Wink, M. (1997). Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 45(8), 3152-3157. <https://doi.org/10.1021/jf970036j>
- Makkar, H. P., & Becker, K. (2009). *Jatropha curcas*, a promising crop for the generation of biodiesel and value-added coproducts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(8), 773-787. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200800244>
- Makkar, H. P., Siddhuraju, P., & Becker, K. (2007). Phorbol esters. In *Plant Secondary Metabolites*, Springer, 101-105. [https://doi.org/10.1007/978-1-59745-425-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-59745-425-4_1)
- Martinez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Davilaortiz, G., & Becker, K. (2006). Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*, 96(1), 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.059>
- Medina-Rodelo, D. P., Quintana-Obregón, E. A., Gutiérrez-Dorado, R., Heredia, J. B., Puello-Cruz, A. C., & Angulo-Escalante, M. A. (2023). The effects of solid-state fermentation of the defatted *Jatropha platyphylla* meal on antinutritional factors, toxic compounds, and nutritional composition. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02191-1>
- Mondal, K., & Payra, P. (2015). A review on use of plant protein sources in diets for fish feed formulation. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary*, 3(5), 257-264. <https://www.jiarm.com/JUNE2015/paper23132.pdf>
- Moss, A. S., Ishikawa, M., Koshio, S., Yokoyama, S., & Dawood, M. A. (2019). Effects of different levels of marine snail shells in the diets of juvenile kuruma shrimps *Marsupenaeus japonicus* as a source of calcium. *North American Journal of Aquaculture*, 81(1), 55-66. <https://doi.org/10.1002/naaq.10066>
- Ocampo, R. J., Rosales-Serna, R., González, J. A. R., Alfredo, P., & Martínez, D. (2015).

- Harina de *Jatropha* para la alimentación animal. Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de *Jatropha* no tóxica. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Zacatepec. Publicación Especial No. 60. pp. 74. [https://gala.gre.ac.uk/id/eprint/14482/5/14482%20ATKINSON State of Art on Science and Technology 2015.pdf](https://gala.gre.ac.uk/id/eprint/14482/5/14482%20ATKINSON%20State%20of%20Art%20on%20Science%20and%20Technology%202015.pdf)
- Olukomaiya, O. O., Fernando, W. C., Mereddy, R., Li, X., & Sultanbawa, Y. (2020). Solid-state fermentation of canola meal with *Aspergillus sojae*, *Aspergillus ficuum* and their co-cultures: Effects on physicochemical, microbiological and functional properties. *Lwt*, 127, 109362. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109362>
- Plaipetch, P., & Yakupitiyage, A. (2014). Effect of replacing soybean meal with yeast-fermented canola meal on growth and nutrient retention of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). *Aquaculture Research*, 45(11), 1744-1753. <https://doi.org/10.1111/are.12119>
- Rashad, M. M., Mahmoud, A. E., Abdou, H. M., & Nooman, M. U. (2011). Improvement of nutritional quality and antioxidant activities of yeast fermented soybean curd residue. *African Journal of Biotechnology*, 10(28), 5504-5513. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/94330>
- Sharath, B. S., Mohankumar, B. V., & Somashekar, D. (2014). Bio-detoxification of phorbol esters and other anti-nutrients of *Jatropha curcas* seed cake by fungal cultures using solid-state fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(5), 2747-2757. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0698-9>
- Sindhu, S. C., & Khetarpaul, N. (2001). Probiotic fermentation of indigenous food mixture: effect on antinutrients and digestibility of starch and protein. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(6), 601-609. <https://doi.org/10.1006/jfca.2001.1022>
- Soltan, M. A., Hassaan, M. S., Abdella, M. S., El-Syaad, G. A., & El-Ashry, M. A. (2015). Yeast fermented sunflower meal as a replacer for fish meal in diets of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 287(2394), 1-9. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2015.2258>
- Tanasković, S. J., Šekuljica, N., Jovanović, J., Gazikalović, I., Grbavčić, S., Đorđević, N., Sekulić, M. V., Hao, J., Luković, N., & Knežević-Jugović, Z. (2021). Upgrading of valuable food component contents and anti-nutritional factors depletion by solid-state fermentation: A way to valorize wheat bran for nutrition. *Journal of Cereal Science*, 99, 103159. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103159>
- Terefe, Z. K., Omwamba, M. N., & Nduko, J. M. (2021). Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and *in vitro* protein digestibility of maize flour. *Food Science & Nutrition*, 9(11), 6343-6352. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2599>
- Vaintraub, I. A., & Lapteva, N. A. (1988). Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Analytical Biochemistry*, 175(1), 227-230. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(88\)90382-X](https://doi.org/10.1016/0003-2697(88)90382-X)
- Van-Doan, H., Hoseinifar, S. H., Ringø, E., Ángeles-Esteban, M., Dadar, M., Dawood, M. A., & Faggio, C. (2020). Host-associated probiotics: a key factor in sustainable aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 16-42. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1643288>
- Vásquez-Villalobos, V. J., Rojas-Padilla, C. R., Luján-Velásquez, M. N., Cholán-Rodríguez, M. A., Mercedes-Chávez, L. A., & Vásquez-Angulo, J. D. (2019). Evaluación de digestibilidad

proteica in vivo e in vitro utilizando *Saccharomyces cerevisiae* (*Saccharomycetaceae*) como organismo modelo. *Arnaldoa*, 26(3), 1125-1142. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n3/a18v26n3.pdf>