

Optimización de la extracción ultrasónica de grasa de semilla de mango y su efecto en la dureza del chocolate

Optimization of ultrasonic extraction of mango seed fat and its effect on chocolate hardness

Vaca Portillo A.C.¹, Osorio Mora O.², Cardoso Ugarte G.A³ y Gómez Salazar J.A.^{1*}

¹ Posgrado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca.

² Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Colombia

³ Facultad de Gastronomía, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
julian.gomez@ugto.mx

RESUMEN:

La semilla de mango es un subproducto con alto potencial como fuente de lípidos alternativos a la manteca de cacao. En este contexto, el ultrasonido emerge como una tecnología eficiente. El objetivo de este estudio fue optimizar la extracción ultrasónica de grasa de semilla de mango y evaluar su efecto en la dureza del chocolate. La extracción se realizó evaluando la temperatura (25 - 55 °C), potencia (100 - 500 W) y relación sólido:solvente (1:10 - 1:30 p/v), mediante metodología de superficie de respuesta. La grasa obtenida se utilizó en la formulación de chocolate oscuro mediante la sustitución parcial de manteca de cacao al 5 % y 10 %, evaluando su efecto sobre la dureza. Los resultados de la optimización mostraron rendimientos 2.68 y 6.97% ($R^2 = 0.9511$), donde la relación sólido:solvente y la potencia influyen significativamente en la extracción y la validación arrojó un rendimiento de 6.12% en condiciones óptimas. Los resultados del chocolate mostraron que el nivel de sustitución de grasa influyó significativamente en la dureza ($p < 0.05$), el 10 % presentó una disminución respecto al control, mientras que el 5 % no evidenció diferencias significativas, lo cual se asocia con cambios en la estructura cristalina del sistema.

PALABRAS CLAVE: Valorización de subproductos, fenómeno de cavitación, metodología de superficie de respuesta, textura y estructura cristalina.

ABSTRACT:

Mango seed is a byproduct with high potential as a source of lipids alternative to cocoa butter. In this context, ultrasound emerges as an efficient technology. The objective of this study was to optimize the ultrasonic extraction of mango seed fat and evaluate its effect on chocolate hardness. Extraction was performed by evaluating temperature (25–55 °C), power (100–500 W), and solid-to-solvent ratio (1:10–1:30 w/v) using response surface methodology. The extracted fat was used in dark chocolate formulations by partially replacing cocoa butter at 5% and 10%, evaluating its effect on hardness. The optimization results showed yields of 2.68% and 6.97% ($R^2 = 0.9511$), where the solid-to-solvent ratio and power significantly influence the extraction. Validation yielded 6.12% under optimal conditions. The results for the chocolate showed that the level of fat substitution significantly influenced hardness ($p < 0.05$); 10% showed a decrease compared to the control, while 5% showed no significant differences, which is associated with changes in the crystalline structure of the system.

KEYWORDS: By-product valorization, cavitation phenomenon, response surface methodology, texture and crystalline structure.

INTRODUCCIÓN

La valorización de subproductos agroindustriales ha cobrado relevancia en la industria alimentaria como estrategia sostenible para el desarrollo de ingredientes funcionales. En la industria del chocolate, la alta dependencia de la manteca de cacao, junto con su elevado costo y variabilidad en el suministro, ha impulsado la búsqueda de alternativas lipídicas que mantengan las propiedades tecnológicas del producto. En este contexto, diversos aceites y grasas vegetales naturales, como la estearina de karité, la manteca de kokum, la manteca de illipe y el aceite de girasol, han demostrado presentar composiciones similares a la manteca de cacao, evidenciando su potencial como sustitutos de manteca de cacao (Norazlina et al., 2021).

En este contexto, la semilla de mango constituye un subproducto agroindustrial con potencial como fuente alternativa de lípidos. Se han reportado contenidos de grasa entre 3.7 y 13.7 % (Solís-Fuentes & Durán-de-Bazúa, 2020), y su amplia disponibilidad como residuo favorece su valorización desde una perspectiva de sostenibilidad y economía circular. Su fracción lipídica es rica en ácidos grasos saturados y monoinsaturados, constituyentes principalmente de triglicéridos tipo POS, SOS y POP, similares a los de la manteca de cacao, lo que favorece su compatibilidad en sistemas grasos estructurados (Jin et al., 2021). Estas características promueven la formación de redes cristalinas estables y a mantener propiedades tecnológicas como la dureza, la textura y la estabilidad del producto (Abbas et al., 2023; Jin et al., 2019; Mokbul et al., 2023).

La extracción de estos lípidos mediante tecnologías emergentes, como el ultrasonido, ha cobrado relevancia debido a su capacidad para mejorar la eficiencia del proceso a través de fenómenos de cavitación, los cuales favorecen la disrupción celular y la transferencia de masa. No obstante, la eficiencia de esta tecnología depende de variables operativas como la potencia ultrasónica, la relación sólido:solvente y la temperatura, las cuales determinan la intensidad de la cavitación, la transferencia de masa y la difusión de los lípidos, influyendo directamente en el rendimiento de extracción (Fu et al., 2020). Por ello, la aplicación de metodologías de optimización, como la metodología de superficie de respuesta, permite evaluar simultáneamente el efecto de varios factores y sus interacciones, generando modelos predictivos que facilitan la determinación de condiciones que maximizan el rendimiento del proceso (Thilakarathna et al., 2023; Yu et al., 2024).

La aplicación de la grasa de semilla de mango en chocolate representa una estrategia para evaluar su viabilidad como sustituto parcial de la manteca de cacao, considerando su efecto sobre los atributos que determinan la calidad del producto. Entre ellos, la dureza constituye uno de los parámetros tecnológicos más relevantes, ya que refleja la organización de la red cristalina de la fase grasa y está directamente relacionada con la sensación en boca y la aceptación del chocolate por parte del consumidor (Abbas et al., 2023). En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo optimizar la extracción ultrasónica de grasa de semilla de mango mediante metodología de superficie de respuesta y evaluar el efecto de su incorporación sobre la dureza del chocolate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la semilla de mango

Las semillas de mango procedentes de Las Palmas, San Blas, Nayarit (21°29'25" N 105°10'46" O) se lavaron, desinfectaron con agua clorada a 100 ppm y se deshidrataron en un horno de bandejas (Shel Lab CE3F), a 50 °C por 24 h. Posteriormente, se molieron (molino Restch- ZM1) y tamizaron (500 µm). Finalmente, el polvo obtenido se empacó en bolsas ziploc para su posterior análisis (Mieles-Gómez et al., 2023; Ouattara et al., 2022).

Extracción asistida con ultrasonido de grasa de semilla de mango

La extracción de la grasa se llevó a cabo mediante un sistema de ultrasonido de sonda (Biobase UCD 2000) con una punta de 15 mm de diámetro, frecuencia de 20 kHz y operación en modo pulsado. Se empleó hexano como solvente y se evaluaron diferentes relaciones sólido/solvente (1:10, 1:20 y 1:30, p/v), potencias ultrasónicas (100, 300 y 500 W) y temperaturas (25, 40 y 55 °C). El tiempo de extracción se fijó en 20 min, seleccionado previamente con base en una cinética de extracción. Posteriormente, se determinó el rendimiento (Ecuación 1) y se almacenó en viales ámbar en refrigeración para próximas pruebas (Dong & Sun, 2023; Mwaurah et al., 2021; Senrayan & Venkatachalam, 2020; Thilakarathna et al., 2023).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{W_1 - W_o}{W_s} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, W_1 : Peso del tubo cónico con la grasa extraída de semilla de mango (g), W_o : Peso del tubo cónico vacío (g) y W_s : Peso de la muestra (g)

Diseño experimental

Se optimizó la extracción de grasa de semilla de mango con un diseño Box-Behnken con metodología de superficie, con 3 factores (relación sólido: solvente, potencia y temperatura) y 3 niveles cada uno, para un total de 15 tratamientos. Los datos experimentales se ajustaron a un modelo polinomial de segundo orden (Ecuación 2) mediante regresión y el análisis estadístico se realizó con el software Design-Expert 11 ®.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + e_i \quad \text{Ec. 2}$$

Donde Y : variable respuesta o dependiente; X_i : variables independientes; β_0 : intercepto; β_i , β_{ij} , β_{ii} : coeficientes de regresión para términos lineales, cuadráticos e interacciones; k : número de variables.

Desarrollo de formulaciones de chocolate

Los chocolates fueron elaborados en la Facultad de Gastronomía de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), siguiendo las metodologías de Rajabi y Sedaghati (2024) y Greweling (2012) con modificaciones. Se realizaron tres formulaciones, estas incluyeron 60 % de cacao, 24 % de azúcar, 1 % de lecitina y 15 % de fase grasa; T0: control, 100 % manteca de cacao, T1 y T2: sustitución del 5 y 10 % con grasa de semilla de mango respectivamente. Los ingredientes se refinaron durante 2.5 h, seguido de un proceso de templado (50, 27 y 32 °C). Finalmente, los chocolates se moldearon y desmoldaron tras 30 min, y se almacenaron hasta su análisis.

Determinación de Dureza de Chocolate

Se determinó con un analizador de textura (LOYD LS1SH) con 5 repeticiones para cada tratamiento, mediante una sonda cilíndrica (diámetro de 5 mm) a una velocidad de 1 mm s⁻¹. Las dimensiones de las muestras fueron de 50 mm×25 mm×10 mm, tomando mediciones por triplicado (Razavizadeh & Tabrizi, 2021).

Análisis estadístico

Los datos de dureza obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre la dureza del chocolate. Se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey para identificar diferencias entre tratamientos. ($p < 0.05$) Los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Optimización de la extracción de grasa de semilla de mango

La optimización de grasa de semilla de mango se llevó a cabo con la metodología de superficie de respuesta donde los rendimientos variaron desde 2.68 hasta 6.97 % (Tabla I). Los rendimientos obtenidos concuerdan con los reportados en la literatura (3.7–16.1 %), los cuales varían según la variedad de mango y el método de extracción. Solís-Fuentes y Durán-de-Bazúa (2020) y Jin et al. (2016) reportaron valores entre 3.7 y 13.7 % y 5.64–11.14 %, respectivamente, mientras que Ohale et al. (2022) obtuvieron hasta 16.1 % mediante Soxhlet. Estas diferencias evidencian la influencia tanto de la variedad como de la técnica empleada, siendo Soxhlet un método más prolongado (≥ 6 h) en comparación con la extracción asistida por ultrasonido utilizada en este estudio (20 min).

Tabla I. Diseño y resultados de la metodología de superficie de respuesta (MSR) para la extracción de grasa de semilla de mango.

Corrida	Factores			Rendimiento (%)
	X ₁ : Relación sólido: solvente	X ₂ : Potencia (W)	X ₃ : Temperatura (°C)	
1	20	300	40	4.42
2	30	100	40	5.14
3	20	500	25	4.09
4	20	500	55	4.98
5	20	100	55	3.10
6	10	300	55	4.89
7	30	300	25	5.82
8	30	300	55	5.39
9	20	300	40	4.57
10	20	300	40	4.31
11	10	100	40	2.68
12	20	100	25	3.57
13	10	500	40	5.32
14	30	500	40	6.97
15	10	300	25	3.61

El análisis de varianza presentado en la Tabla II indicó que el modelo de superficie de respuesta fue significativo ($p = 0.0087$), evidenciando un buen ajuste para describir la extracción. La relación sólido:solvente y la potencia de ultrasonido presentaron efectos significativos ($p < 0.05$), mientras que la temperatura y las interacciones de los factores no fueron relevantes. El término cuadrático de la relación (A^2) resultó significativo ($p = 0.0136$), indicando curvatura en la respuesta. Además, la falta de ajuste no fue significativa ($p = 0.0610$), confirmando la validez del modelo para predecir condiciones óptimas.

Tabla II. Análisis de varianza (ANOVA) de la extracción de grasa de semilla de mango.

Fuente	Suma de cuadrados	g.l	Cuadrado medio	Valor F	Valor-p	
Modelo	16.31	9	1.81	10.81	0.0087	Significativo
A: Relación sólido:solvente	5.83	1	5.83	34.79	0.0020	
B: Potencia	5.90	1	5.90	35.19	0.0019	
C: Temperatura	0.2027	1	0.2027	1.21	0.3216	
AB	0.1601	1	0.1601	0.9546	0.3734	
AC	0.7240	1	0.7240	4.32	0.0923	
BC	0.4637	1	0.4637	2.77	0.1572	
A ²	2.33	1	2.33	13.89	0.0136	
B ²	0.1458	1	0.1458	0.8697	0.3938	
C ²	0.3368	1	0.3368	2.01	0.2156	
Residuo	0.8383	5	0.1677			
Falta de ajuste	0.8039	3	0.2680	15.57	0.0610	No significativo
Error puro	0.0344	2	0.0172			

Total	17.15	14
--------------	-------	----

Según los resultados del ANOVA, se construyó el gráfico de superficie de respuesta (Figura 1) respecto a la relación sólido: solvente y la potencia como factores con efecto significativo en la maximización del rendimiento. A medida que la relación sólido:solvente y la potencia incrementan, el rendimiento asciende de forma notable, considerando temperaturas medias. Los puntos marcados evidencian que las condiciones extremas dentro del rango estudiado permiten alcanzar los valores más altos de extracción.

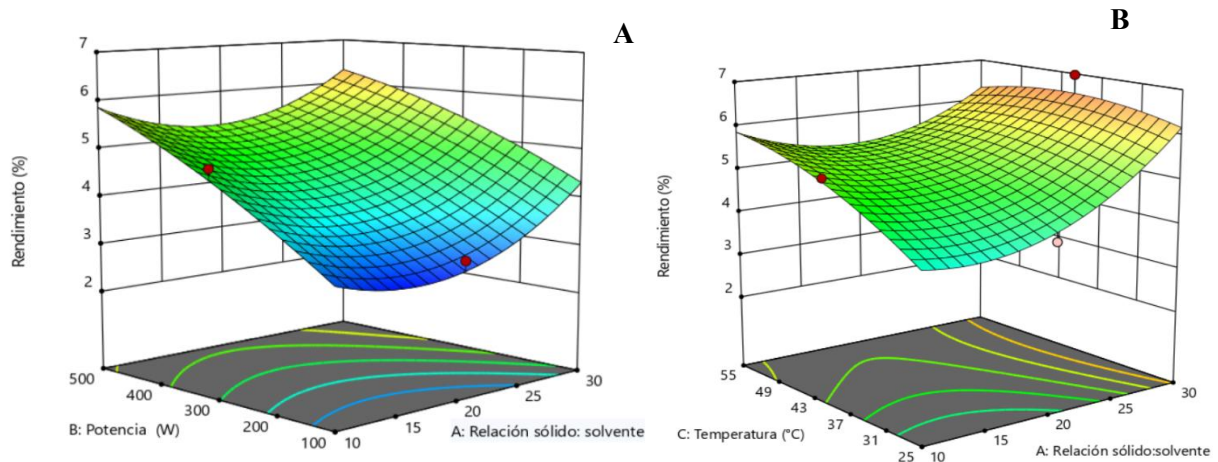


Figura 1. Diagrama de superficie de respuesta de la extracción de grasa de semilla de mango. A: Interacción relación sólido: solvente y potencia; B: Interacción relación sólido: solvente y temperatura

La Ecuación 3 representa la posibilidad para predecir el comportamiento del proceso así:

$$\text{Rendimiento (\%)} = 0.0875456 + (-0.0888478 * A) + (0.00473567 * B) + (0.00794234 * A^2) \quad \text{Ec. 3}$$

La validación del modelo confirmó su solidez y capacidad predictiva dentro del proceso de extracción. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9511$) evidenció un ajuste entre los valores predichos y los observados, mientras que el error fue menor a 10 %, lo que refleja la precisión experimental. La optimización identificó como condiciones ideales las que se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Optimización y validación de la extracción de grasa de semilla de mango.

Factores		Condiciones óptimas		Deseabilidad
Relación sólido:solvente		1:30		0.900
Potencia (W)		499.999		
Temperatura (°C)		41.837		
Variable	Valor teórico	Valor experimental	Error (%)	
Rendimiento (%)	6.546	6.12	6.5	

En cuanto al efecto de los factores, la relación sólido:solvente, la potencia y el efecto cuadrático de la relación sólido:solvente influyen significativamente en los rendimientos de extracción. Respectivamente, Ohale et al. (2022) atribuyen que la rápida extracción de grasa de semilla de mango se debe a que al aumentar la relación sólido:solvente incrementa la cantidad de aceite lixiviable durante el proceso de extracción. Por su parte Wei et al. (2022) reporta que la potencia ultrasónica controla la intensidad de la cavitación durante el proceso de extracción. A medida que aumenta, se incrementa la formación e implosión de microburbujas, generando fuerzas mecánicas que favorecen la ruptura de la matriz celular y mejoran la liberación de los lípidos. Por el contrario, niveles bajos de potencia pueden producir una cavitación insuficiente y disminuir el rendimiento de extracción.

Dureza del chocolate producido

La dureza es una de las propiedades texturales más relevantes en el chocolate, ya que está directamente relacionada con la percepción sensorial, la calidad del producto y su comportamiento durante el manejo y almacenamiento (Abbas et al., 2023). El análisis de varianza (Tabla IV) evidenció que el nivel de sustitución de manteca de cacao tuvo un efecto significativo sobre la dureza del chocolate ($p = 0.0006$), indicando que las diferencias observadas entre tratamientos no son atribuibles al azar. Este resultado confirma que la incorporación de grasa de semilla de mango modifica las propiedades mecánicas del sistema, lo cual puede estar relacionado con cambios en la composición lipídica, la fracción sólida de grasa y la organización de la red cristalina. Se ha reportado que la dureza del chocolate depende en gran medida de la estructura cristalina y de la proporción de triglicéridos tipo SOS, los cuales favorecen la formación de una red sólida estable (Abbas et al., 2023; Kaur et al., 2022; Mokbul et al., 2023; Zarić et al., 2024).

Tabla IV. Análisis de varianza (ANOVA) de chocolate con sustitución de grasa de semilla de mango.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p
Dureza	1289.68	2	644.838	14.49	0.0006
Error	533.986	12	44.988		
Total	1823.66	14			

Para identificar específicamente las diferencias entre tratamientos, se realizó una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, 95 %), como se muestra en la Figura 2.

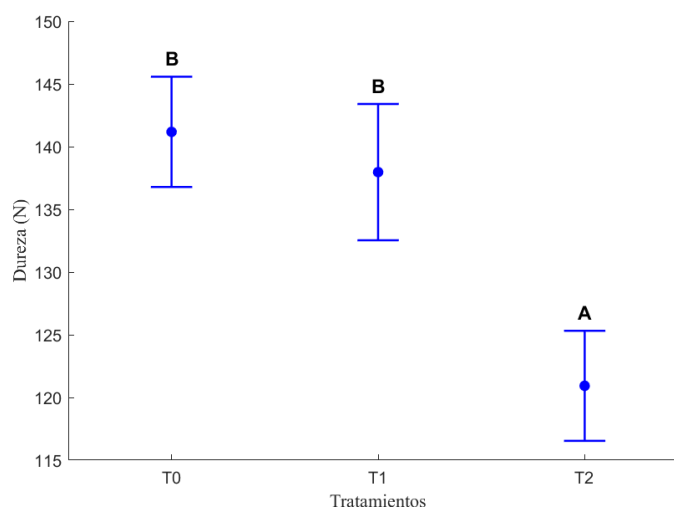


Figura 2. Comparación múltiple de medias (Tukey 95 %) de la dureza del chocolate en función del nivel de sustitución de grasa de semilla de mango; T0: 0 %, T1: 5 %, T2: 10 %.

Como se puede observar, T0 y T1 no presentaron diferencias significativas entre sí, mientras que T2 se ubicó en un grupo estadísticamente distinto, con una disminución significativa en la dureza. Este comportamiento sugiere que, a niveles bajos de sustitución (5 %), la grasa de semilla de mango es compatible con la matriz lipídica del chocolate, permitiendo mantener una red cristalina adecuada. Sin embargo, al incrementar la sustitución, se observa una reducción en la resistencia mecánica, posiblemente asociada a una disrupción en el empaquetamiento cristalino y a variaciones en la estabilidad de formas polimórficas como la $\beta(V)$, considerada responsable de las propiedades óptimas del chocolate. Este fenómeno ha sido descrito en sistemas también con uso de grasa de semilla de mango, donde niveles elevados de sustitución afectan la continuidad de la red cristalina y disminuyen la dureza del producto.

(Kaur et al., 2022; Mokbul et al., 2023). De manera similar, Thilakarathna et al. (2025) encontraron que chocolates elaborados con mayores porcentajes de grasa de mahua presentaron una menor dureza, atribuida a una reducción en la fracción de cristales de grasa sólida. En conjunto, estos resultados evidencian la existencia de un umbral de sustitución a partir del cual la estructura del chocolate comienza a verse comprometida.

CONCLUSIONES

La extracción ultrasónica de grasa de semilla de mango está principalmente controlada por la relación sólido:solvente y la potencia, las cuales favorecen la transferencia de masa mediante la cavitación, mientras que la temperatura presenta un efecto limitado dentro del rango evaluado. La metodología de superficie de respuesta demostró ser una herramienta eficaz para modelar y optimizar el proceso, logrando predecir condiciones óptimas con alta precisión y validación experimental, lo que confirma su aplicabilidad en la intensificación de procesos de extracción asistidos por ultrasonido.

La sustitución de manteca de cacao por grasa de semilla de mango en la formulación de chocolate evidenció que el nivel de sustitución afecta la dureza del producto, donde el 5 % no presentó diferencias significativas respecto al control, mientras que el 10 % generó una disminución en esta propiedad. Estos resultados indican que la grasa de semilla de mango puede incorporarse en chocolate a niveles moderados sin comprometer su integridad estructural.

En conjunto, el estudio demuestra el potencial de la extracción asistida por ultrasonido como una alternativa eficiente para la valorización de subproductos y el desarrollo de ingredientes lipídicos con aplicación en sistemas alimentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, S., Shahbaz, M., Ahmad, S., Imran, M., Naeem, H., Hussain, M., Mujtaba, A., Mubeen, K., Afzal, M. I., Akram, Q., Mushtaq, Z., Abdelgawad, M. A., Ghoneim, M. M., Shaker, M. E., & AL JBawi, E. (2023). Utilization of mango seed oil as a cocoa butter replacer for the development of innovative chocolate. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3226–3240. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2267784>
- Dong, S., & Sun, S. (2023). Kinetic and thermodynamic studies of the oil extracted from Phoenix seeds. *Grasas y Aceites*, 74(2). <https://doi.org/10.3989/gya.0669221>
- Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., & Luo, Z. (2020). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104726. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.104726>
- Jin, J., Jin, Q., Akoh, C. C., & Wang, X. (2021). StOst-rich fats in the manufacture of heat-stable chocolates and their potential impacts on fat bloom behaviors. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 418–430. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.005>
- Jin, J., Jin, Q., Wang, X., & Akoh, C. C. (2019). Improving heat and fat bloom stabilities of “dark chocolates” by addition of mango kernel fat-based chocolate fats. *Journal of Food Engineering*, 246, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.027>
- Jin, J., Warda, P., Mu, H., Zhang, Y., Jie, L., Mao, J., Xie, D., Huang, J., Jin, Q., & Wang, X. (2016). Characteristics of mango kernel fats extracted from 11 China-specific varieties and their typically fractionated fractions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(8), 1115–1125. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2853-2>
- Kaur, G., Kaur, D., Kansal, S. K., Garg, M., & Krishania, M. (2022). Potential cocoa butter substitute derived from mango seed kernel. *Food Chemistry*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131244>

- Mieles-Gómez, L., Quintana, S. E., & García-Zapateiro, L. A. (2023). Ultrasound-Assisted Extraction of Mango (*Mangifera indica*) Kernel Starch: Chemical, Techno-Functional, and Pasting Properties. *Gels*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/gels9020136>
- Mokbul, M., Cheow, Y. L., & Siow, L. F. (2023). Physical properties, sensory profile and storage stability of compound chocolates made with cocoa butter replacer consisting of mango kernel fat and rice bran oil. *Food Chemistry Advances*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100515>
- Mwaurah, P. W., Kumar, S., Kumar, N., Attkan, A. K., Panghal, A., & Singh, V. K. (2021). Ultrasound and microwave-assisted solvent extraction of mango kernel oil and evaluation of physicochemical properties and fatty acid profile. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16090>
- Norazlina, M. R., Jahurul, M. H. A., Hasmadi, M., Mansoor, A. H., Norliza, J., Patricia, M., Ramlah George, M. R., Noorakmar, A. W., Lee, J. S., & Fan, H. Y. (2021). Trends in blending vegetable fats and oils for cocoa butter alternative application: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 102–114. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.07.016>
- Ohale, P. E., Nwajiobi, O. J., Onu, C. E., Madiebo, E. M., & Ohale, N. J. (2022). Solvent extraction of oil from three cultivars of Nigerian mango seed kernel: Process modeling, GA-optimization, nonlinear kinetics and comparative characterization. *Applied Food Research*, 2(2), 100227. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100227>
- Ouattara, L. Y., Soro, D., Fanou, G. D., Kouassi, E. K. A., Bamba, M., Yao, K. B., Adouby, K., Drogui, A. P., & Tyagi, D. R. (2022). Optimization of the Autoclave-Assisted Alkaline Delignification of Cocoa (*Theobroma cacao*) Pod Husks Using KOH to Maximize Reducing Sugars. *BioResources*, 17(1), 826–848. <https://doi.org/10.15376/BIORES.17.1.826-848>
- Razavizadeh, B. M., & Tabrizi, P. (2021). Characterization of fortified compound milk chocolate with microcapsulated chia seed oil. *LWT*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111993>
- Senrayan, J., & Venkatachalam, S. (2020). Ultrasonic acoustic-cavitation as a novel and emerging energy efficient technique for oil extraction from kapok seeds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102347>
- Solís-Fuentes, J. A., & Durán-de-Bazúa, M. del C. (2020). Mango Seed. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 79–90). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818553-7.00008-5>
- Thilakarathna, R. C. N., Siow, L. F., Tang, T. K., Chan, E. S., & Lee, Y. Y. (2023). Physicochemical and antioxidative properties of ultrasound-assisted extraction of mahua (*Madhuca longifolia*) seed oil in comparison with conventional Soxhlet and mechanical extractions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106280>
- Thilakarathna, R. C. N., Siow, L. F., Tang, T. K., Cheong, L. Z., & Lee, Y. Y. (2025). Mahua oil fraction: A sustainable and functional 1,3-dipalmitoyl-2-oleoylglycerol (POS)-enriched cocoa butter equivalent for chocolate production. *Food Chemistry*, 477, Article 143564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143564>
- Wei, C., Xiao, K., Li, H., Qi, Y., Zou, Z., & Liu, Z. (2022). Optimization of ultrasound assisted aqueous enzymatic extraction of oil from *Cinnamomum camphora* seeds. *LWT*, 164, 113689. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113689>
- Yu, X., Li, S., Peng, S., Tao, L., & Hu, F. (2024). Optimization of ultrasound-assisted extraction of fatty acids from royal jelly and its effect on the structural and antioxidant property. *Ultrasonics Sonochemistry*, 104, 106802. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2024.106802>

Zarić, D. B., Rakin, M. B., Bulatović, M. Lj., Dimitrijević, I. D., Ostojin, V. D., Lončarević, I. S., & Stožinić, M. V. (2024). Rheological, Thermal, and Textural Characteristics of White, Milk, Dark, and Ruby Chocolate. *Processes*, 12(12), 2810. <https://doi.org/10.3390/pr12122810>