



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



REVIEW

Seeds as by-product of fruit processing in the food industry: Proximate composition, phytochemical profile and utilization in the framework of the circular economy

Semillas como subproducto del procesamiento de frutas en la industria de alimentos: Composición proximal, perfil fitoquímico y aprovechamiento en el marco de la economía circular

Luz María Paucar-Menacho^{1*} ; Jordy Campos-Rodriguez¹ ; Cesar Moreno-Rojo¹ ; Saúl Ricardo Chuqui-Diestra² ; Saul Eusebio-Lara¹

¹ Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agroindustrial y Agrónoma, Av. Universitaria s/n, Urb. Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash, Perú.

² Departamento Académico de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Portal Independencia N° 57 - Huamanga, Ayacucho, Perú.

* Corresponding author: luzpaucar@uns.edu.pe (L. M. Paucar-Menacho).

Received: 30 August 2024. Accepted: 4 March 2025. Published: 24 March 2025.

Abstract

This study analyzes the potential of 12 seeds from the Peruvian region as by-products of fruit processing, presenting them as a sustainable alternative for waste reduction and the valorization of bioactive compounds. It highlights their chemical composition and the role they can play in recovering bioactive compounds with antioxidant, antimicrobial, and functional properties. The study explores the possibility of utilizing fruit by-products in various industrial sectors, such as food, pharmaceutical, and nutraceutical industries, thereby contributing to the circular economy and a more sustainable management of natural resources. The review emphasizes the importance of addressing challenges such as the presence of antinutrients and contaminants, as well as evaluating processing methods that can reduce these compounds, highlighting the need to ensure their safety for consumption and their viability in different sectors, including food, cosmetic, and pharmaceutical industries.

Keywords: Agro-industrial byproducts; antioxidants; oil extraction; bioactive compounds; circular economy.

Resumen

Este estudio analiza el potencial de 12 semillas de la región del Perú como subproducto del procesamiento de frutas como una alternativa sostenible para la reducción de desechos y la valorización de compuestos bioactivos. Se destaca su composición química y el papel que pueden desempeñar en la recuperación de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antimicrobianas y funcionales. Abordando la posibilidad de utilizar los subproductos de frutas en diversos sectores industriales, como el alimentario, farmacéutico y nutracéutico, contribuyendo así a la economía circular y a un manejo más sostenible de los recursos naturales. La revisión menciona la importancia de abordar desafíos como la presencia de antinutrientes y contaminantes, así como la evaluación de métodos de procesamiento que permitan reducir estos compuestos, resaltando la necesidad de garantizar su seguridad para el consumo y su viabilidad en distintos sectores, incluyendo el alimentario, cosmético y farmacéutico.

Palabras clave: Subproductos agroindustriales; antioxidantes; extracción de aceite; compuestos bioactivos; economía circular.

DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.018>

Cite this article:

Paucar-Menacho, L. M., Campos-Rodriguez, J., Moreno-Rojo, C., Chuqui-Diestra, S. R., & Eusebio-Lara, S. (2024). Semillas como subproducto del procesamiento de frutas en la industria de alimentos: Composición proximal, perfil fitoquímico y aprovechamiento en el marco de la economía circular. *Scientia Agropecuaria*, 16(2), 215-234.

1. Introducción

En la industria alimentaria, el procesamiento de frutas y hortalizas ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años (Kapoor et al., 2020). Sin embargo, este incremento ha traído consigo un

problema significativo, la generación de grandes volúmenes de desechos, en particular las semillas de frutas, cuya acumulación representa un desafío tanto ambiental como económico (Kumar et al., 2024). Se estima que los desechos de frutas y

verduras constituyen aproximadamente el 16% del desperdicio total de alimentos y contribuyen en torno al 6% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Cassani & Gomez-Zavaglia, 2022).

Los subproductos agroindustriales, como semillas, piel, orujo y corteza, suelen ser descartados, a pesar de su alto contenido de compuestos bioactivos, entre ellos polisacáridos, polifenoles, carotenoides y fibra dietética (Choe et al., 2022; Patra et al., 2022). En particular, las semillas de frutas han comenzado a recibir mayor atención debido a su riqueza en sustancias con potenciales aplicaciones industriales, especialmente en los sectores cosmético, farmacéutico y alimentario (Fragassa et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Su valorización no solo permite reducir el impacto ambiental, sino que también se alinea con los principios de la economía circular y el uso sostenible de los recursos naturales (Hamda et al., 2024). Además, la recuperación de compuestos bioactivos a partir de estos subproductos refuerza su importancia como insumos para diversas industrias, ampliando sus posibilidades de aprovechamiento (Fidelis et al., 2019).

En este contexto, el propósito central de esta investigación es explorar el aprovechamiento integral de las semillas como subproductos generados durante el procesamiento de frutas, con un enfoque en 12 especies de semillas de la región del Perú. Para ello, se realiza una revisión de su composición proximal, perfil lipídico y características fisicoquímicas, así como la identificación de compuestos bioactivos y sus posibles aplicaciones. El objetivo es contribuir a la valorización de estos subproductos, maximizando la recuperación de compuestos beneficiosos y reduciendo el impacto ambiental asociado con la gestión de desechos en la industria frutícola.

2. Subproductos de las industrias alimenticia

Las industrias de procesamiento de frutas generan millones de toneladas de desechos, incluidas las semillas de frutas, que tradicionalmente se han pasado por alto como meros subproductos (Antonisamy et al., 2023; Fierascu et al., 2020). Dichos desechos, representando del 25% al 30% del total de la fruta, se originan después de la extracción de la pulpa de la fruta o en la elaboración de productos de valor añadido, como mermeladas, jugos o jaleas (Socas-Rodríguez et al., 2021; Mahato et al., 2019; Kapoor et al., 2020). Sin embargo, estas semillas poseen un alto valor nutricional y funcional, con potencial para ser utilizadas en la formulación de nuevos ingredientes alimentarios o bioactivos (Allaqaband et al., 2022). La Tabla 1 presenta el rendimiento de las semillas en relación con el peso

total de la fruta, evidenciando la significativa pérdida de este subproducto en los procesos de industrialización. Además, la Figura 1 muestra una representación gráfica de las 12 semillas analizadas en esta investigación.

Tabla 1

Rendimiento de las semillas en relación al peso total de la fruta

Semilla	Rendimiento (%)	Fuente
Durazno	5,0 – 60,0	(Kumari et al., 2023)
Granada	3,0 – 20,0	(Krist, 2020)
Granadilla	6,3	(Ocampo et al., 2015)
Guanabana	3,3 – 6,5	(Nolasco-González et al., 2019)
Maracuyá	1,0 – 4,0	(Cheok et al., 2018)
Melon	7,0	(Fundo et al., 2018)
Naranja	6,3	(Lagou et al., 2018)
Papaya	16,0	(Sugiharto, 2020)
Pitahaya	2,7 – 14,7	(Akram & Mushtaq, 2019)
Sandía	1,0 – 4,0	(Jadhav et al., 2017)
Tuna	24,0	(Chougui et al., 2013)
Uva	0,1 – 6,0	(Ribéreau-Gayon et al., 2006)

3. Composición proximal

Los macronutrientes de los alimentos sirven como principales fuentes de energía y se pueden utilizar como ingredientes principales en la formulación de alimentos procesados (Zhang et al., 2024). La composición proximal de las semillas de frutas incluye agua, hidratos de carbono, fibra, cenizas y minerales (Tabiri et al., 2016). Además, se destacan como fuentes importantes de otros compuestos nutricionales valiosos, como lípidos y proteínas, siendo especialmente ricas en ácidos grasos esenciales y aminoácidos esenciales (Mustafa et al., 2023). Por lo tanto, las semillas de frutas presentan un considerable potencial como fuente de macronutrientes. Diversas investigaciones han evaluado el perfil nutricional de las 12 semillas estudiadas en esta investigación, considerando su contenido de humedad, proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas y fibra. Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla 2.

4. Perfil Lipídico

Los lípidos representan una parte importante de la química de las semillas de frutas (Alves et al., 2021). El aceite extraído de las semillas de frutas es rico en ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido púnicico, el ácido oleico, el ácido linoleico y el ácido palmítico (Kawakami et al., 2021; Rodríguez-Blázquez et al., 2023; Paul & Radhakrishnan, 2020). En las Tabla 3A y 3B se detalla la composición de ácidos grasos de las semillas subproducto de fruta, puesto que, la presencia y proporciones de estos ácidos grasos son cruciales, ya que influyen en la estabilidad del aceite. La abundancia de ácidos grasos insaturados, como el oleico, contribuye a la resistencia contra la oxidación, mejorando la vida

útil del aceite (Si et al., 2023). Sin embargo, la presencia de ácidos grasos insaturados también puede aumentar la susceptibilidad a la oxidación (Wang et al., 2023), lo que subraya la importancia de comprender la composición específica de ácidos grasos para ajustar los procesos de extracción y almacenamiento, garantizando la calidad y durabilidad de los aceites obtenidos de semillas de frutas (Folayan et al., 2019).

Además de su impacto en la estabilidad del aceite, la composición de ácidos grasos tiene un valor nutricional significativo. Los ácidos alfa-linolénico (omega-3) y linoleico (omega-6) son esenciales para la salud humana y su proporción varía entre diferentes variedades de semillas de frutas, lo que influye en las propiedades funcionales y nutricionales del aceite (Xu et al., 2018). Asimismo, el aceite de semillas es una fuente relevante de tocoferoles, como α -tocoferol y γ -tocotrienol, que poseen propiedades antioxidantes (Biswas et al., 2017; Mohamed et al., 2016). También se ha identificado la trilinoleína como el triacilglicerol predominante en este tipo de aceite (Mallek-Ayadi et al., 2019).

En relación al aceite esencial de semillas, destacan compuestos mayoritarios como escualeno, penta-decanal e isotiocianato de bencilo, además de otros compuestos minoritarios, como sesquiterpenos, alcoholes, aldehídos e hidrocarburos, con potencial aplicación en las industrias alimentaria y farmacéutica (Chóez et al., 2015; Hall et al., 2018). Debido a esta composición, el aceite de semillas ha demostrado propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, nefroprotectoras, hepatoprotectoras, neuroprotectoras y anticancerígenas. Asimismo, contribuye a la regulación del sistema inmunitario, al metabolismo de los carbohidratos y a la reducción de la resistencia a la insulina (Boroushaki et al., 2016).

5. Perfil fitoquímico de las semillas

Las semillas constituyen una excelente fuente de diversos compuestos bioactivos, como carotenoides, tocoferoles, xantofilas, polifenoles incluidos los ácidos fenólicos, flavonoides (Lorenzo et al., 2019; Sahu et al., 2022). La ingesta de estos compuestos en concentraciones adecuadas puede presentar efectos prometedores en la prevención de enfermedades como la diabetes, la obesidad, el Parkinson, el Alzheimer y otras. (de Araújo et al., 2021). En la **Tabla 4** se presenta en detalle la composición de polifenoles y flavonoides de las semillas de frutas subproducto tratadas en este trabajo.

5.1 Semilla de durazno (*Prunus persica*)

Las semillas de durazno exhibieron la presencia de polifenoles, carotenoides, flavonoles, flavonas y glucósidos cianogénicos, así como tetraterpenoides

(Kumari et al., 2023). Nowicka & Wojdylo (2019) estudio 20 variedades de durazno, en el cual, mediante análisis por LC-MS, reveló 18 compuestos fenólicos, incluyendo flavones ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzónico e hidroxicinámico), flavonoles y flavan-3-oles (monómero, polimérico procianidinas, dímeros). Es por ende que el extracto de semillas mostró propiedades antienvjecimiento, antibiofilm, protección contra el estrés oxidativo, proliferación de células cancerosas, inhibición de la diabetes tipo II, la enfermedad de Alzheimer y la obesidad (Kumari et al., 2023).

5.2 Semilla de granada (*Punica granatum*)

Se caracterizaron las semillas de granada, identificando una amplia gama de fitoquímicos, incluidos ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides, taninos hidrolizables y otros polifenoles (Fourati et al., 2020). Ambigaipalan et al. (2017) identificaron 47 compuestos fenólicos en extractos de semilla de durazno americano mediante cromatografía líquida de alto rendimiento con detección por espectrometría de masas en tándem (HPLC-DAD-ESI-MS/MS). Por su parte, He et al. (2012) estudiaron los compuestos fenólicos extraídos de las semillas de granada y lograron identificar diecisiete compuestos utilizando HPLC-ESI-MS. Entre los compuestos más relevantes identificados en la literatura se encuentran flavan-3-oles, ácidos fenólicos, glicósidos flavonoides, taninos hidrolizables, ácido protocatecuico, ácido gálico, ácido elágico, catequina, hexósidos de ácido ferúlico, y hexósidos de quercetina. Estos compuestos son de particular interés debido a sus propiedades antioxidantes y beneficios para la salud (Fourati et al., 2020).

5.3 Semilla de granadilla (*Passiflora ligularis*)

Las semillas de la granadilla contienen compuestos bioactivos con potencial antimicrobiano contra bacterias patógenas. Estos extractos muestran promisorio potencial como antimicrobianos naturales o como fuente de compuestos bioactivos (Santos et al., 2019). El análisis HPLC mostró que se identificaron ocho compuestos en extractos de semillas de granadilla, en donde se encontró ácido gálico, catequina, epicatequina epigallocatequina, 6,2'-Di-hidroxiflavona, taxifolina. galato de etilo y cumarina (Santos et al., 2021).

5.4 Semilla de guanábana (*Annona muricata*)

Las semillas de guanábana son una buena fuente de compuestos nutricionales y representan una alternativa para obtener compuestos de interés. Entre los principales compuestos fenólicos encontrados en estas semillas se destacan la rutina, el ácido trans-cinámico y la catequina (Menezes et

al., 2019). Orak et al. (2019) realizaron un análisis por GC-MS del extracto de semillas de guanábana utilizando hexano para identificar posibles antioxidantes. Este análisis permitió identificar 44 compuestos, incluyendo terpenoides y fitoesteres, los principales compuestos identificados fueron el (E)-nerolidol, un terpenoide,

y el (3- β)-stigmast-5-en-3-ol, un fitosterol, ambos conocidos por su actividad antioxidante. Por otro lado, Mesquita et al. (2021) detectaron 29 compuestos fenólicos en extractos de semillas de guanábana, lo que resalta el potencial de valorización de este subproducto industrial en las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria.

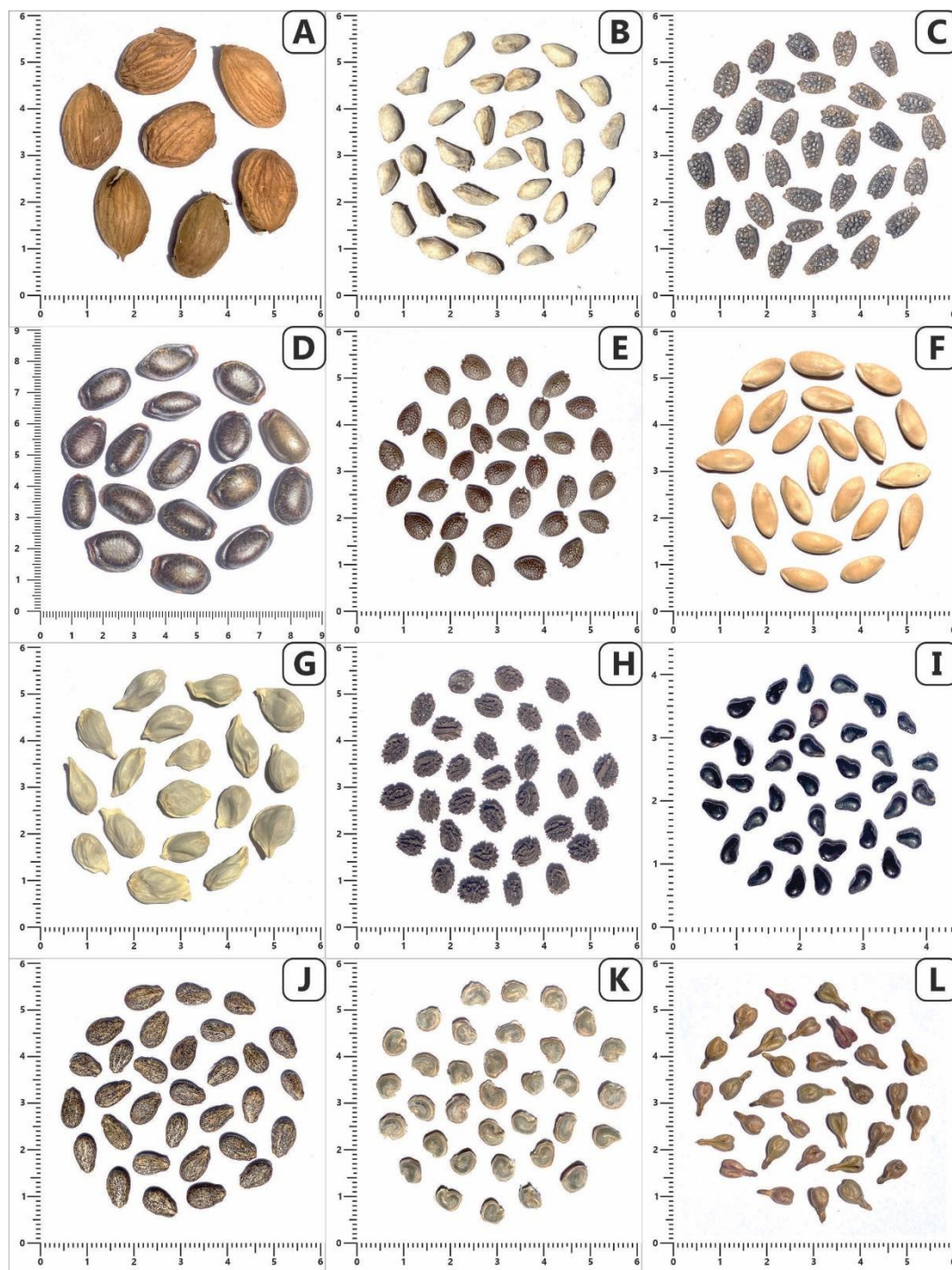


Figura 1. Semillas de subproducto de frutas (A) durazno, (B) granada, (C) granadilla, (D) guanábana, (E) maracuyá, (F) melón, (G) naranja, (H) papaya, (I) pitahaya, (J) sandía, (K) tuna y (L) uva.

Tabla 2
Composición proximal de diversas semillas subproducto de frutas (% en base a materia seca)

Semillas	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	Carbohidratos	Fuente
Durazno	7,60 ± 0,40	35,00 ± 2,00	30,00 ± 3,00	8,63 ± 0,02	6,10 ± 0,10	13,00 ± 3,00	(Rodríguez-Blázquez et al., 2023)
	6,97	2,68	37,69	1,86	3,36	*	(Shahid & Dildar, 2011)
Granada	20,80 ± 0,45	9,20 ± 0,35	4,80 ± 0,29	12,60 ± 0,26	5,30 ± 0,19	64,85 ± 0,07	(Sharma & Akansha, 2018)
	6,84 ± 0,03	14,06 ± 0,18	26,03 ± 0,09	27,59 ± 0,27	1,55 ± 0,04	23,96 ± 0,14	(Abiola et al., 2018)
Granadilla	9,53 ± 0,19	6,49 ± 0,28	21,03 ± 1,47	*	1,91 ± 0,08	61,04 ± 1,41	(Andasuryani et al., 2020)
	1,57 ± 0,06	19,00 ± 1,00	27,90 ± 0,70	26,30 ± 0,70	2,18 ± 0,04	*	(Vardanega et al., 2023)
Guanábana	4,42 ± 0,15	9,75 ± 0,07	8,14 ± 0,05	2,49 ± 0,27	2,11 ± 0,61	73,27 ± 0,28	(Onuoha et al., 2021)
	*	14,99 ± 1,09	29,51 ± 1,28	42,67 ± 1,91	1,31 ± 0,03	*	(Menezes et al., 2019)
Maracuyá	9,18 ± 0,34	12,71 ± 0,10	29,65 ± 0,41	26,98 ± 0,48	1,35 ± 0,01	20,51 ± 0,75	(Ramaiya et al., 2018)
	9,53 ± 0,19	6,49 ± 0,28	21,03 ± 1,47	*	1,91 ± 0,08	61,04 ± 1,41	(Andasuryani et al., 2020)
Melón	6,00 ± 0,30	34,60 ± 0,20	41,60 ± 0,20	8,50 ± 0,20	5,10 ± 0,10	*	(Petkova & Antova, 2015)
	7,16 ± 0,14	27,41 ± 0,53	30,65 ± 0,6	25,32 ± 0,13	4,83 ± 0,12	29,96 ± 0,55	(Mallek-Ayadi et al., 2018)
Naranja	*	3,06±0,32	54,2 ± 12,0	5,50 ± 0,08	2,50 ± 0,23	34,74 ± 0,01	(El-Safy et al., 2012)
	3,14 ± 0,08	4,18 ± 0,22	57,45 ± ,17	6,06 ± 0,17	2,44 ± 0,05	26,73 ± 0,49	(Adubofuor et al., 2021)
Papaya	3,78 ± 0,04	7,41 ± 0,01	29,62 ± 0,02	26,31 ± 0,02	10,51 ± 0,02	22,37 ± 0,03	(Egbuonu, et al., 2016)
	*	31,26 ± 0,11	32,50 ± 0,02	5,19 ± 0,11	8,89 ± 0,21	22,154 ± 0,11	(El-Safy et al., 2012)
Pitahaya	12,60 ± 0,60	20,60 ± 0,60	29,60 ± 0,60	30,20 ± 1,90	2,10 ± 0,10	35,20 ± 1,50	(Villalobos-Gutiérrez et al., 2012)
	9,90 ± 0,30	26,60 ± 0,70	37,40 ± 1,00	19,40 ± 0,20	2,80 ± 0,30	33,20 ± 1,30	(Nguyen et al., 2022)
Sandía	7,40 ± 0,00	17,09 ± 0,92	26,50 ± 4,27	39,09 ± 0,50	2,00 ± 1,00	15,32 ± 4,51	(Tabiri et al., 2016)
	48,68 ± 0,55	08,93 ± 0,25	22,77 ± 3,30	2,18 ± 0,46	0,96 ± 0,66	13,99 ± 0,31	(Enemor et al., 2019)
Tuna	6,50	10,70	4,88	46,31	3,39	28,22	(AbdelFattah et al., 2020)
	4,17 ± 0,00	10,00 ± 0,17	10,50 ± 0,50	18,23 ± 0,00	1,63 ± 0,00	55,47 ± 0,44	(Reda & Atsbha, 2019)
Uva	6,33 ± 0,40	14,35 ± 0,08	16,70 ± 0,05	*	5,74 ± 0,03	56,88	(Maman & Yu, 2019)
	10,40 ± 0,19	10,70 ± 0,17	15,80 ± 1,21	38,20 ± 2, 24	2,58 ± 0,11	22,37 ± 2,7	(Hanaa et al., 2015)

Tabla 3A
Composición de ácidos grasos (%) del aceite extraído de diversas semillas de frutas

Semilla	Durazno		Granada		Granadilla		Guanábana		Maracuyá		Melón	
Láurico, C12:0	*	*	*	0,51 ± 0,05	*	*	*	*	0,03	0,03	*	*
Mirístico, C14:0	*	0,04	*	0,36 ± 0,07	0,06 ± 0,01	*	0,06 ± 0,01	*	0,08	0,12	0,04 ± 0,01	0,11
Palmitico, C16:0	7,95 ± 0,08	6,12	4,87 ± 1,32	22,08 ± 2,71	8,2 ± 0,1	7,24 ± 0,10	19,12 ± 0,02	20,29 ± 0,09	10,77	13,27	8,71 ± 0,07	11,3
Palmitoleico, C16:1 ω-7	0,58 ± 0,00	0,46	*	0,40 ± 0,01	0,23 ± 0,01	*	1,36 ± 0,02	1,16 ± 0,05	0,18	0,26	0,08 ± 0,02	*
Margárico, C17:0	0,06 ± 0,00	0,06	0,14 ± 0,02	0,54 ± 0,08	0,09 ± 0,01	*	0,07 ± 0,01	*	0,06	*	0,07 ± 0,00	*
Esteárico, C18:0	1,40 ± 0,00	1,74	2,78 ± 0,95	8,94 ± 1,41	2,53 ± 0,06	1,82 ± 0,07	3,30 ± 0,01	4,98 ± 0,05	2,98	3,70	5,54 ± 0,06	4,18
Oleico, C18:1 ω-9	52,90 ± 0,40	68,89	8,15 ± 1,83	10,47 ± 0,76	12,81 ± 0,05	7,32 ± 0,14	39,18 ± 0,03	38,81 ± 0,04	16,06	21,78	15,84 ± 0,03	55,7
Linoleico, C18:2 ω-6	35,40 ± 0,30	21,29	9,59 ± 2,03	28,86 ± 0,26	75,2 ± 0,2		34,91 ± 0,03	32,92 ± 0,03	69,22	57,93	68,98 ± 0,05	25,9
α-linolénico, C18:3 ω-3	0,13 ± 0,01	0,07	0,40 ± 0,05	1,02 ± 0,26	0,09 ± 0,01	0,83 ± 0,05	1,16 ± 0,01	1,06 ± 0,03	*	0,25	0,2 ± 0,00	0,19
Araquídico, C20:0	0,14 ± 0,01	0,10	0,13 ± 0,05	0,91 ± 0,24	0,75 ± 0,08	74,22 ± 1,3	0,42 ± 0,01	0,52 ± 0,02	0,43	*	0,16 ± 0,01	0,38
Behénico, C22:0	*	0,03	*	1,25 ± 0,24	*	*	0,10 ± 0,00	0,14 ± 0,01	*	1,13	*	*
Lignocérico, C24:0	*	0,02	1,84 ± 0,87	0,58 ± 0,19	*	*	0,10 ± 0,00	0,13 ± 0,01	*	*	0,06 ± 0,01	0,10
ΣSFA	9,55 ± 0,09	*	9,76 ± 0,87	35,17 ± 3,74	11,68	17,63 ± 2,09	23,17	26,06	14,36	18,22	14,61	17,16
ΣUFA	90,45 ± 0,09	*	*	*	88,32	82,37 ± 2,09	*	*	*	81,78	*	82,77
ΣMUFA	54,90 ± 0,40	*	8,15 ± 1,83	16,73 ± 0,20	14,54	*	40,75	39,97	16,24	23,39	16,22	56,27
ΣPUFA	35,50 ± 0,30	*	69,42 ± 0,89	46,44 ± 4,57	85,46	*	36,07	33,97	69,39	58,39	69,18	26,50
Fuente	Rodríguez-Blázquez et al. (2023)	Schinas et al. (2017)	Siano et al. (2015)	Amri et al. (2017)	Vardanega et al. (2023)	Artica et al. (2021)	Elagbar et al. (2016)	Moreno & Jorge (2012)	Serra et al. (2019)	Santos et al. (2020)	Mallek-Ayadi et al. (2018)	Chen et al. (2021)

Tabla 3B
Composición de ácidos grasos (%) del aceite extraído de diversas semillas de frutas

Semilla	Naranja		Papaya		Pitahaya		Sandía		Tuna		Uva	
Láurico, C12:0	2,96	*	*	*	*	0,13 ± 0,01	0,4 ± 0,1	*	*	*	*	0,01
Mirístico, C14:0	0,89	*				0,39 ± 0,13	0,4 ± 0,1	0,09 ± 0,01	0,11 ± 0,06	0,01	0,13 ± 0,01	0,05
Palmitico, C16:0	12,60	26,2 ± 0,1	14,96	15,8 ± 0,1	15,31 ± 0,02	16,64 ± 0,68	14,0 ± 0,1	16,6 ± 1,10	12,71 ± 0,34	15,8	13,93 ± 0,27	6,6
Palmitoleico, C16:1 ω-7	*	0,5 ± 0,0	1,77	0,4 ± 0,4	0,81 ± 0,02	1,01 ± 0,22	0,1 ± 0,02	0,24 ± 0,01	*	0,81	0,38 ± 0,03	0,08
Margárico, C17:0	*	*	*	0,1 ± 0,1	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,0	0,2 ± 0,02	0,16 ± 0,02	*	0,01	0,23 ± 0,03	0,06
Esteárico, C18:0	8,90	5,8 ± 0,0	5,93	5,1 ± 0,0	7,31 ± 0,01	6,05 ± 0,09	6,5 ± 0,1	18,7 ± 1,39	6,33 ± 0,29	2,66	5,50 ± 0,11	3,5
Oleico, C18:1 ω-9	43,03	26,4 ± 0,0	70,84	73,5 ± 0,2	19,21 ± 0,06	26,63 ± 0,09	18,3 ± 0,2	13,2 ± 1,27	10,04 ± 0,03	20,1	20,35 ± 0,67	14,3
Linoleico, C18:2 ω-6	25,11	37,4 ± 0,0	4,58	4,0 ± 0,2	54,81 ± 0,07	39,76 ± 1,23	58,7 ± 0,2	48,8 ± 2,21	57,46 ± 0,84	59,9	58,40 ± 1,67	74,7
α-linolénico, C18:3 ω-3	4,3	3,0 ± 0,0	0,38	*	0,20 ± 0,01	0,59 ± 0,19	*	*	5,41 ± 0,24	0,15	0,06 ± 0,01	0,15
Araquídico, C20:0	0,54	0,4 ± 0,0	0,46	0,4 ± 0,1	0,93 ± 0,04	1,44 ± 0,10	0,2 ± 0,01	1,19 ± 0,12	*	0,19	0,31 ± 0,42	0,16
Behénico, C22:0	*	*	*	*	0,86 ± 0,02	1,35 ± 0,09	0,2 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,48 ± 0,07	0,10	*	*
Lignocérico, C24:0	*	*	*	*	0,51 ± 0,00	0,41 ± 0,02	*	0,16 ± 0,02	*	0,03	*	*
ΣSFA	25,89	*	21,84	21,7	25,15	27,67 ± 0,75	*	37,07 ± 2,63	19,63 ± 0,12	18,8	20,10	10,4
ΣUFA	74,11	*	*	78,3	*	*	*	62,51 ± 3,51	*	*	79,73	*
ΣMUFA	43,70	*	73,12	*	20,19	31,61 ± 0,20	*	13,72 ± 1,30	11,37 ± 0,17	29,0	21,27 ± 0,98	14,8
ΣPUFA	30,41	*	4,96	*	55,64	40,72 ± 0,95	*	48,79 ± 2,21	*	60,2	58,46	74,9
Fuente	Iwuagwu et al. (2018)	da Silva & Jorge (2016)	Senrayan & Venkatachalam (2018)	Manaf et al. (2014)	Boyapati et al. (2023)	Liu et al. (2022)	Angelova-Romova et al. (2019)	Mahla et al. (2018)	Li et al. (2023)	Sánchez-Salcedo et al. (2015)	Al Juhaimi et al. (2017)	Garavaglia et al. (2016)

Tabla 4A
Compuestos fenólicos y flavonoides presentes en semillas subproducto de fruta

Semilla	Durazno		Granada		Granadilla	Guanábana		Maracuyá	
Unidad	mg/100 g	mg/kg	mg/100 g	mg/g	mg/g	mg/g	µg/g	mg/100 g	µg/mg
Polifenoles									
Ácido gálico	*	1,65±0,9	*	0,03 ± 0,00	0,05	*	0,46 ± 0,03	2,11±0,03	0,01
Ácido cafeico	*	*	*	0,06 ± 0,00	*	0,0011 ± 0,00	34,44 ± 0,46	*	0,05
Ácido vainílico	*	*	6,69 ± 0,22	*	*	0,0141 ± 0,0019	*	2,80± 0,08	0,09
Ácido clorogénico	4,0±0,1	15,03±1,3	*	0,70 ± 0,12	*	*	13,08 ±0,18	*	0,002
Ácido neoclorogénico	4,9±1,9	*	*	*	*	*	73,56 ± 0,97	*	*
Ácido ferúlico	5,7±0,7	0,22±0,08	4,21 ± 0,06	0,20 ± 0,08	*	0,0031 ± 0,0003	*	18,29±0,55	0,003
Ácido p-cumárico	*	0,15±0,09	2,49 ± 0,05	0,23 ± 0,01	*	0,0270 ± 0,0058	*	1,16± 0,04	0,02
Ácido transcinámico	*	*	1,63 ± 0,00	*	*	*	*	0,00001 ± 0,00	*
Flavonoides									
Kaempferol	*	*	*	0,15 ± 0,04	*	*	*	*	0,01
Catequina	*	*	*	1,19 ± 0,00	0,03	*	*	*	*
Quercetina	5,5±0,1	*	*	0,24 ± 0,03	0,003	0,0039 ± 0,0006	*	*	*
Epicatequina	*	*	*	0,25 ± 0,02	0,07	*	*	*	*
Fuente	Redondo et al. (2020)	Loizzo et al. (2015)	Silva et al. (2019)	Khemakhem et al. (2021)	Santos et al. (2020)	Mesquita et al. (2021)	Aguilar-Hernández et al. (2019)	da Costa (2023)	Yepes et al. (2021)

Tabla 4B
Compuestos fenólicos y flavonoides presentes en semillas subproducto de fruta

Semilla	Melón		Naranja	Papaya	Sandía	Tuna	Uva
Unidad	mg/100 g	ppm	mg/g	mg/g	µg/mL	mg/100 g	mg/l
Polifenoles							
Ácido gálico	0,93 ± 0,03	159,9	*	0,004 ± 0,005	2,56	48,29 ± 0,85	1332,0±90,2
Ácido cafeico	0,41 ± 0,01	*	0,011 ± 0,002	0,04 ± 0,01	24,22	12,98 ± 0,18	243,7±2,4
Ácido vainílico	0,61 ± 0,01	*	*	0,02 ± 0,0006	22,64	*	3,4±1,3
Ácido clorogénico	*	846,4	*	0,02±0,00	*	*	1013,2±91,6
Ácido neoclorogénico	*	*	*	*	*	*	*
Ácido ferúlico	*	*	0,046 ± 0,007	0,37 ± 0,04	68,29	*	*
Ácido p-cumárico	0,60 ± 0,01	*	0,018 ± 0,002	0,01 ± 0,001	19,62	2,51 ± 0,07	341,3±4,6
Ácido transcinámico	*	*	*	*	*	*	*
Flavonoides							
Kaempferol	*	*	*	*	*	5,37 ± 0,12	*
Catequina	*	*	*	*	*	174,77 ± 0,14	*
Quercetina	3,91	145,3	*	*	*	7,39 ± 0,35	28,7±1,2
Epicatequina	*	*	*	*	*	*	9299,4±82,2
Fuente	Mallek-Ayadi et al. (2019)	Saleem et al. (2019)	Bocco et al. (1998)	Rodrigues et al. (2019)	Fadimu et al. (2020)	Al Juhaيمي et al. (2018)	Doshi et al. (2015)

5.5 Semilla de maracuyá (*Passiflora edulis*)

Las semillas de maracuyá ofrecen una amplia gama de beneficios nutricionales y para la salud, que incluyen desde la protección antioxidante hasta el mantenimiento de sistemas cardiovascular e intestinal saludables (Ramaiya et al., 2018). En las semillas de *Passiflora edulis*, se han identificado varios compuestos clasificados como ácidos fenólicos, entre los que se encuentran el ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido ferúlico, ácido gálico, ácido rosmarínico, cumarina y ácido p-cumárico (Da Costa et al., 2023; Yamamoto et al., 2019). Además, se han detectado diversos flavonoides en estas semillas, incluyendo agliconas como epicatequina, quercetina y kaempferol, así como glucósidos como rutina, isoquercetina, malvidina 3,5-diglucósido, orientina, isoorientina, vitexina e isovitexina (Taborda et al., 2021; Dos Reis et al., 2018).

5.6 Semilla de melón (*Cucumis melo*)

Se ha determinado la presencia de compuestos bioactivos en las semillas de melón con potencial antioxidante (Khalid et al., 2021). El análisis fitoquímico preliminar de las semillas de melón reveló la presencia de diversos compuestos, incluidos saponinas, terpenoides, esteroides, alcaloides, glucósidos cardíacos, antraquinonas, quinonas y fenoles (Krishnamachari & Nithyalakshmi, 2017; Olubunmi et al., 2019). Además, un análisis por HPLC de los compuestos fenólicos en las semillas de melón permitió identificar once compuestos fenólicos. Entre estos se encuentran cuatro ácidos fenólicos (ácido gálico, protocatecuico, cafeico y rosmarínico), cinco flavonoides (luteolina-7-O-glucósido, naringenina, apigenina, flavona y amentoflavona), un secoiridoide (oleuropeína) y un lignano (pinoresinol) (Mallek-Ayadi et al., 2018).

5.7 Semilla de naranja (*Citrus sinensis*)

Las semillas de naranja tienen propiedades antioxidantes, antibacterianas y antifúngicas que pueden ser aprovechadas en el desarrollo de agentes antimicrobianos (Oikeh et al., 2020). Estudios previos han demostrado que los desechos generados a partir de cítricos contienen fitoquímicos útiles con propiedades antioxidantes (Oikeh, 2014). El análisis fitoquímico de las semillas de naranja reveló la presencia de varios compuestos bioactivos. Usando acetato de etilo como solvente, se identificaron flavonoides, terpenoides, taninos, azúcares reductores y alcaloides. En el extracto acuoso, además de estos compuestos, también se encontraron polifenoles (Simeon et al., 2018).

5.8 Semilla de papaya (*Carica papaya*)

Las semillas de papaya son una excelente fuente de sustancias valiosas que pueden emplearse en la producción de aditivos o suplementos alimentarios (Pathak et al., 2019). Un estudio que utilizó cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS/MS-QTOF) identificó un total de 30 metabolitos en las semillas de papaya. Estos metabolitos incluyen 13 alcaloides, 5 flavonoides, 5 hidrocarburos, 5 fenoles y 2 purinas (Alfarabi et al., 2022). Además, se identificaron 30 compuestos fenólicos, entre los que destacan el ácido ferúlico, el ácido mandélico y el ácido vainílico (Rodrigues et al., 2019).

5.9 Semilla de pitahaya (*Selenicereus undatus*)

Las semillas de pitahaya se consideran una fuente valiosa de nutrientes y antioxidantes. Contienen altas cantidades de fitoquímicos con diversas actividades biológicas, como propiedades anticancerígenas, antimicrobianas y antioxidantes (Sushmitha et al., 2018; Nguyen et al., 2022). Las semillas presentan cantidades significativas de compuestos fenólicos y tocoferoles, los cuales desempeñan un papel crucial en el aumento de la estabilidad oxidativa (Ünver, 2023). Según Adnan et al. (2011), los compuestos fenólicos identificados incluyen catequina, quercetina, miricetina y epicatequina. Además, en un estudio sobre la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos en *Hylocereus undatus* y *Hylocereus polyrhizus*, se encontraron ácidos protocatecuico, p-cumárico, p-hidroxibenzoico, vainílico, cafeico, gálico y siringico en las semillas de estas dos especies (de Araujo et al., 2021). Asimismo, la catequina, la epicatequina y la epigallocatequina se identificaron previamente en las semillas de pitahaya blanca y roja cultivadas en Tailandia (Younis et al., 2023).

5.10 Semilla de sandía (*Citrullus lanatus*)

Las semillas de sandía tienen una composición nutricional y una actividad antioxidante potencialmente altas, además de contener compuestos bioactivos en cantidades significativas (Zia et al., 2023). En un análisis de las semillas de sandía, se identificaron seis antioxidantes: taninos, saponinas, flavonoides, glucósidos cianogénicos, oxalatos y alcaloides (Braide et al., 2012). Otros estudios también han determinado la presencia de saponinas, taninos, alcaloides y flavonoides en estas semillas (Neglo et al., 2021).

Los fitoquímicos encontrados en las semillas de sandía incluyen licopeno, betacaroteno, xantofilas,

compuestos fenólicos, globulina, albúmina, glutelina, vitamina C, tiamina, riboflavina, compuestos polifenólicos, terpenos y esteroides (Wani et al., 2011; Olamide et al., 2011; Loij et al., 2011).

5.11 Semilla de tuna (*Opuntia ficus indica*)

Las semillas de tuna son una fuente rica en compuestos bioactivos y nutrientes esenciales. Según Kolniak-Ostek et al. (2020), se han identificado un total de 21 metabolitos en las semillas de tuna, entre los que destacan principalmente los ácidos fenólicos y flavonoles. El ácido glutámico es el aminoácido predominante en estas semillas, seguido de arginina, ácido aspártico y leucina. Además, se han identificado y evaluado 13 ácidos grasos diferentes, siendo el ácido linoleico el más abundante. Por otro lado, el análisis de extractos de semillas de tuna mediante HPLC, realizado por Bouaouich et al. (2023), reveló la presencia de seis compuestos fenólicos, entre los que se incluyen el ácido gálico y el ácido clorogénico. El perfil fenólico de las semillas de tuna mostró una alta complejidad, con más de 20 compuestos detectados. Entre ellos, se identificaron firmemente tres isómeros de feruloil-sacarosa, y se sugirió que otro compuesto era un sinapoil-diglicósido (Chougui et al., 2013).

5.12 Semilla de uva (*Vitis vinifera*)

Las semillas de uva contienen una gran cantidad de compuestos fenólicos y poseen capacidades antioxidantes, citotóxicas y antibacterianas (Peixoto et al., 2018). En particular, los extractos de semillas de uva han mostrado un alto contenido total de fenoles, destacándose la presencia de grandes cantidades de catequina y ácido gálico. Además, se han identificado otros compuestos fenólicos, como el ácido protocatéquico, el ácido clorogénico, la quercetina, el ácido rosmarínico y el kaempferol (Aldubayan, 2018). A través del análisis HPLC, se han identificado 11 compuestos fenólicos en los extractos de semillas de uva, clasificados en diferentes grupos: ácidos hidroxibenzoicos (ácido gálico, ácido vainílico, ácido cafeico y ácido sirínico), ácidos hidroxicinámicos (ácido protocatéquico, ácido clorogénico y ácido p-cumárico), flavan-3-oles (catequina, epicatequina y galato de epicatequina) y flavonoles (hidrato de quercetina) (Doshi et al., 2015).

6. Usos

La reutilización de las semillas de frutas no solo impulsa la innovación en la industria alimentaria, mejorando la calidad y funcionalidad de los productos, sino que también contribuye a la sostenibilidad. Utilizar estos subproductos ayuda a reducir los desechos generados durante el procesamiento,

promoviendo una economía circular en la industria alimentaria (Farag et al., 2022; de Wit et al., 2017). Recientes descubrimientos han revelado que dichas semillas son una fuente alternativa de aceite vegetal, potenciadores alimentarios, aditivos, conservantes y colorantes. Estas aplicaciones prometedoras abarcan tanto la industria alimentaria como la nutracéutica (Mallek-Ayadi et al., 2018).

Además, existen una serie de métodos para procesar y aprovechar los desechos agroindustriales. Estos métodos incluyen la extracción química, la enzimólisis, la fermentación, la digestión anaeróbica, la pirólisis, la extracción con fluidos supercríticos, la molienda, la hidrólisis, entre otros (Liu et al., 2023). Estos enfoques permiten innovar en la creación de suplementos alimenticios y en la elaboración de productos como mermeladas, purés, jugos, muesli, yogures, frutas enlatadas y bocadillos (Kumar et al., 2023). En la Figura 2 se desarrolla los principales compuestos fenólicos y flavonoides presentes en las semillas subproducto de fruta trabajados en esta investigación, además de su aplicación y uso en diversas líneas de producción, tanto en el área alimenticia como en la farmacéutica.

6.1 Obtención de aceite

Diversos estudios han demostrado el potencial tecnológico de las semillas de frutas, destacando el aceite extraído de ellas como una fuente rica en nutrientes, lo que ha permitido importantes avances en su aprovechamiento (Biswas et al., 2017; Lucarini et al., 2019). La composición única del aceite de semilla lo convierte en un ingrediente atractivo para productos destinados al cuidado de la piel y el cabello, lo que sugiere su potencial uso en formulaciones cosméticas (Cesar et al., 2022; Petchsomrit et al., 2020).

Diversos estudios han reportado diferentes métodos para la extracción de aceite de semillas de fruta, entre ellos el prensado en frío (Antoniasse et al., 2022), la extracción química con disolventes (Pereira et al., 2017), el uso de enzimas (Goula et al., 2017), la extracción asistida por microondas (Boyapati et al., 2023) y ultrasonido (Zhang et al., 2019). De estos métodos, la extracción con disolventes es una de las más adoptadas debido a sus ventajas económicas y prácticas (Kumar et al., 2017). La selección del método de extracción puede influir significativamente en la composición del aceite y en la conservación de sus propiedades bioactivas. En la Figura 3 se ilustra la obtención de semillas como subproducto de la industrialización de las frutas, además de los diferentes métodos existentes para la extracción de aceite en ellas y su posterior análisis y caracterización de ácidos grasos.

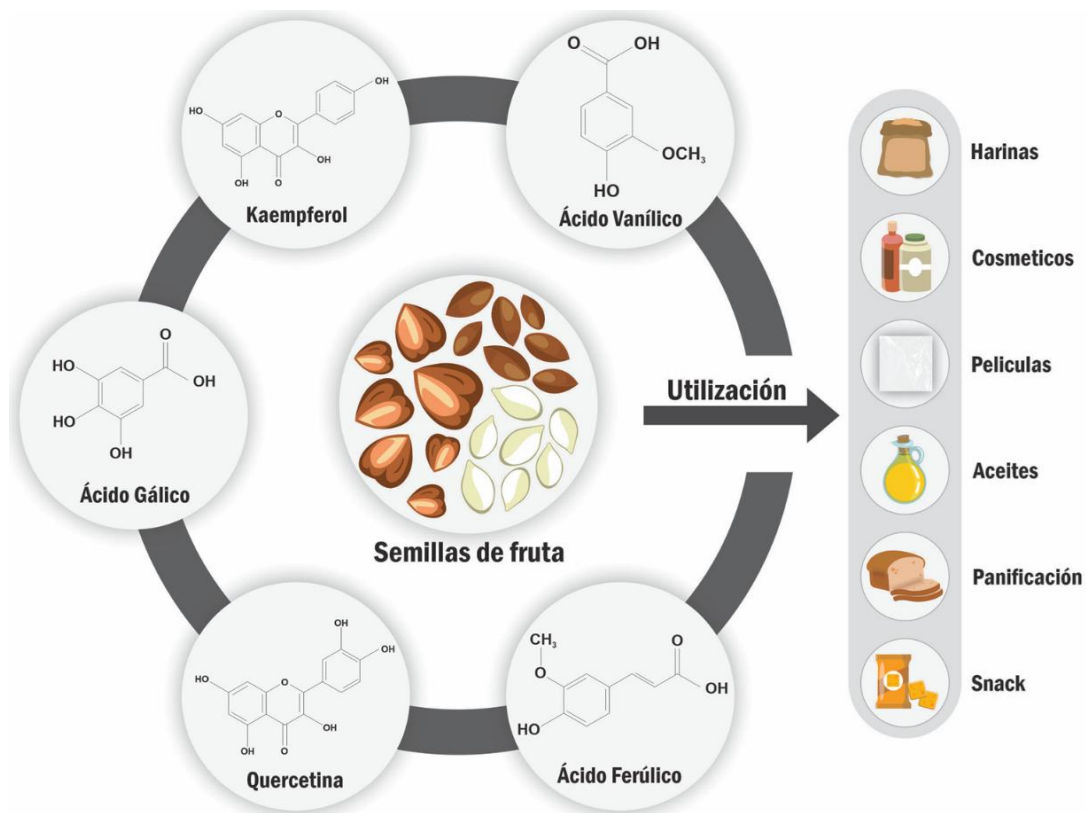


Figura 2. Principales compuestos fenólicos y flavonoides presentes en semillas subproducto de frutas y sus aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica.

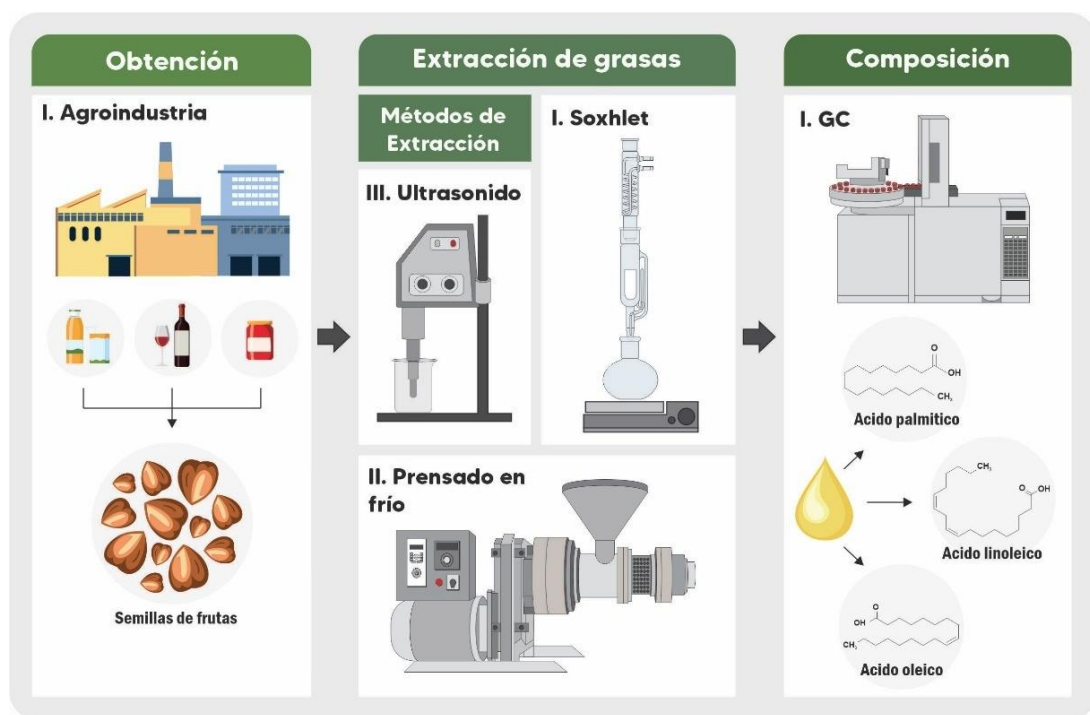


Figura 3. Obtención, extracción y posterior caracterización de aceite de semillas subproducto de frutas.

6.2 Obtención de harina

Los subproductos frutales se utilizan principalmente para obtener harinas a través de procesos de deshidratación, molienda y tamizado. Su aprovechamiento ha ido en aumento en el mercado global como una estrategia para reducir desechos y, al mismo tiempo, mejorar la conservación de estos materiales como ingredientes en la industria alimentaria (Nirmal et al., 2023).

En este contexto, la harina obtenida a partir de semillas secas conserva su valor nutricional durante la molienda (Raja et al., 2019). Estudios recientes han demostrado que la harina de semilla de fruta posee un alto contenido de fibra dietética y compuestos fenólicos totales, además de la presencia de ácidos fenólicos, flavonoides y un alcaloide, lo que sugiere su potencial uso en diversas aplicaciones alimentarias (Ikeda et al., 2021; Wójcik et al., 2023).

Debido a estas propiedades, esta harina puede incorporarse en diversas formulaciones, como pan de trigo (Bolaji et al., 2022), pastas o fideos (Roobab & Maqsood, 2024), tortas (Braga et al., 2024) y galletas (Nordin et al., 2024), cereales y otros alimentos como suplemento nutricional, ampliando las posibilidades de aprovechamiento integral de las semillas y ofreciendo nuevas oportunidades en la industria alimentaria (Wójcik et al., 2023). Además, la harina de semillas desgrasadas presenta aptitudes tecnológicas que la hacen útil en la formulación de piensos o alimentos para animales (Tiencheu et al., 2021).

6.3 Obtención de películas y recubrimientos comestibles

Recientemente, ha habido una creciente inclinación hacia el desarrollo de películas biodegradables producidas a partir de biopolímeros, como polisacáridos, lípidos, proteínas y sus compuestos, debido a su biodegradabilidad, renovabilidad y abundancia (Moeini et al., 2022). Estas películas pueden incluso reducir la proliferación microbiana, mejorar la calidad alimentaria y aumentar la vida útil de los productos (Hoque et al., 2021). En este contexto, las semillas han demostrado tener aplicaciones innovadoras en la industria del embalaje, destacándose en la producción de películas con propiedades antimicrobianas y mecánicas, lo que las convierte en componentes valiosos para mejorar la estabilidad de los envases alimentarios (Paul & Radhakrishnan, 2020). La utilización de polisacáridos naturales, combinada con la adición de semillas de frutas en la fabricación de películas biodegradables, ha mostrado un aumento en los días de preservación de las frutas, así como una mejora en sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Nayak et al., 2024).

Además, el empaque funcional contiene compuestos bioactivos que protegen y preservan los alimentos de factores externos e internos que pueden causar su deterioro. Sus fuertes propiedades antibacterianas y antioxidantes lo convierten en un material bioactivo ideal para envases funcionales debido a su naturaleza no tóxica (Roy et al., 2023).

7. Desafíos actuales y futuros

Se analizan las semillas subproducto de las frutas más conocidas en Perú y en Latinoamérica, con gran potencial como fuente natural de compuestos nutricionales y bioactivos que pueden ser utilizados en la producción de alimentos, cosméticos y medicamentos. Se han desarrollado diversas tecnologías para aprovechar estas semillas, como la extracción de aceites, la producción de harinas y la encapsulación de compuestos bioactivos. El uso de estos subproductos puede tener un impacto positivo en el medio ambiente al promover la economía circular y prácticas más sostenibles. Además, la educación y la sensibilización sobre el valor de las semillas subproducto en Latinoamérica pueden fomentar su uso sostenible y generar nuevas oportunidades económicas en la región. En la **Figura 4** se observa un aumento considerable en el número de publicaciones por año, lo que indica un creciente interés en el aprovechamiento de las semillas subproducto de frutas. Este interés se centra, principalmente, en la valorización de sus subproductos y la extracción de aceites, destacando una tendencia creciente hacia la exploración e investigación de estos recursos.

Por otra parte, el uso de gráficos coocurrencia permite identificar vacíos en el entendimiento o campos que necesitan una investigación más exhaustiva sobre este tema. La cantidad de nodos, junto con su disposición central o periférica, permite visualizar las conexiones entre conceptos. En la **Figura 5(a)**, se muestra cómo palabras clave de los artículos analizados co-ocurren entre sí y en la **Figura 5(b)**, se pueden identificar los temas relacionados a las semillas como subproducto de frutas en orden cronológico, desde los más antiguos hasta los más recientes, los cuales se distinguen en cuatro grupos clústeres:

Clúster Amarillo: Este clúster se centra en la caracterización del perfil de ácidos grasos de los aceites extraídos de semillas de frutas mediante cromatografía de gases. Estudios recientes han identificado que los aceites de semillas de frutas presentan proporciones significativas de ácidos grasos esenciales, como el ácido linoleico y oleico, lo que les confiere un alto valor nutricional y funcional (Kawakami et al., 2021; Rodríguez-Blázquez et al., 2023).

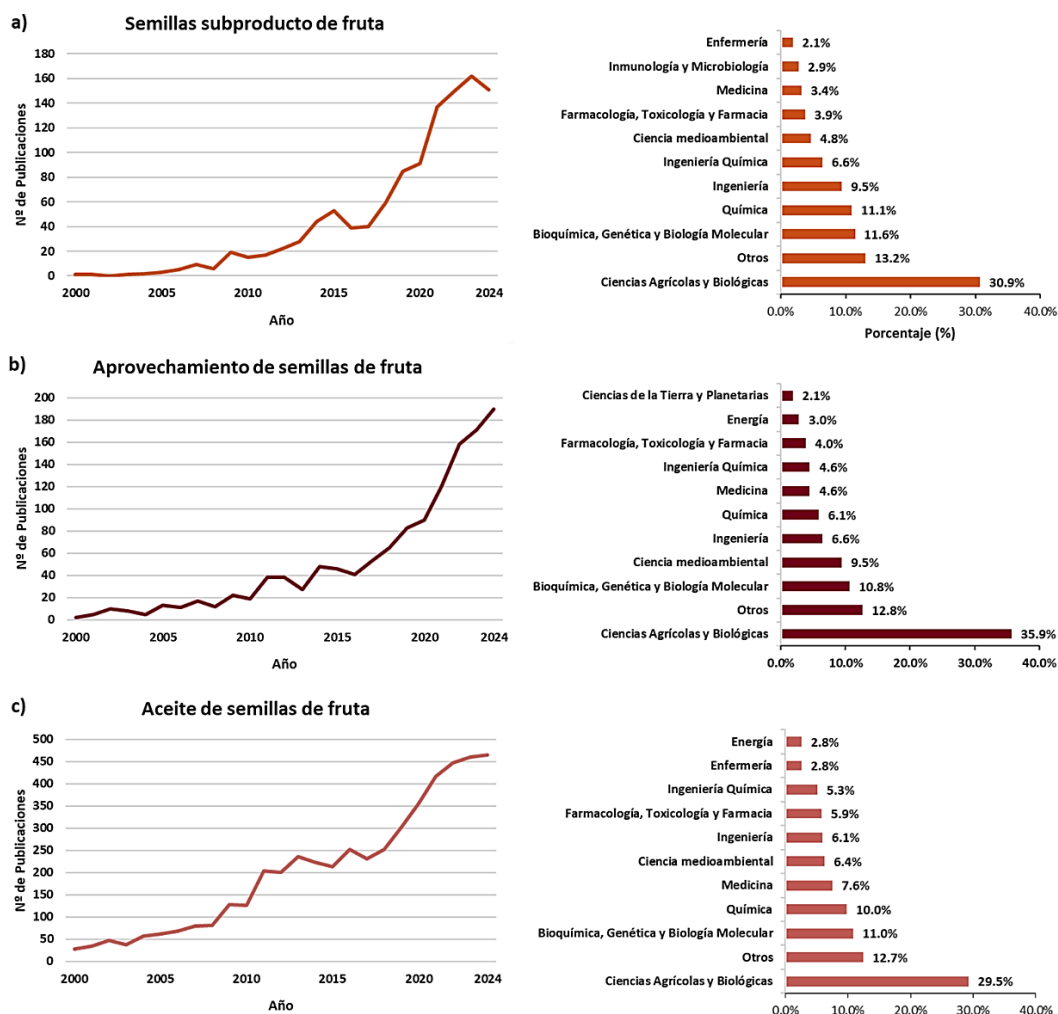


Figura 4. Número de publicaciones de artículos científicos desde 2000 hasta 2024 y áreas temáticas sobre (a) Semillas subproducto de frutas, (b) Aprovechamiento de semillas de frutas, y (c) Aceite de semillas de frutas. Información obtenida de la base de datos Scopus, (criterios de búsqueda: (a) "Fruit" AND "by-product" AND "seeds", (b) "Utilization" AND "of" AND "Fruit" AND "seeds", y (c) "Fruit" AND "seeds" AND "oil"; tipo de DOCUMENT TYPE: "ALL").

Asimismo, se ha demostrado que estos aceites pueden ser una alternativa viable a los aceites convencionales en la industria alimentaria y cosmética (Cesar et al., 2022).

Clúster Verde: La presencia de compuestos bioactivos en las semillas de frutas ha despertado un creciente interés debido a sus propiedades antioxidantes y beneficios para la salud. La cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC) se ha utilizado ampliamente para la identificación y cuantificación de polifenoles, flavonoides y otros compuestos bioactivos en semillas de diversas frutas (Ambigaipalan et al., 2017; Alfarabi et al., 2022; Mallek-Ayadi et al., 2018).

Clúster Rojo: Las semillas de frutas representan una fuente valiosa de nutrientes y compuestos funcionales, lo que ha llevado a su revalorización en la industria alimentaria. Diversos estudios han explorado su composición química y su aplicación en

productos como harinas, aceites y suplementos nutricionales (Tiencheu et al., 2021; Petchsomrit et al., 2020; Mallek-Ayadi et al., 2018). Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad al reducir los desechos agroindustriales, sino que también genera nuevas oportunidades de mercado.

Clúster azul: El uso de tecnologías innovadoras para la extracción de compuestos de semillas de frutas ha sido ampliamente estudiado en los últimos años. Métodos como la extracción con ultrasonido, la extracción por solventes y el uso de fluidos supercríticos han demostrado ser altamente eficientes para obtener aceites y compuestos bioactivos con alto valor agregado (Kumar et al., 2021; Ray et al., 2023). La extracción con CO₂ supercrítico, por ejemplo, permite obtener aceites de alta pureza sin la necesidad de solventes químicos, lo que la convierte en una alternativa sostenible y segura para la industria alimentaria y farmacéutica (Tan et al., 2022).

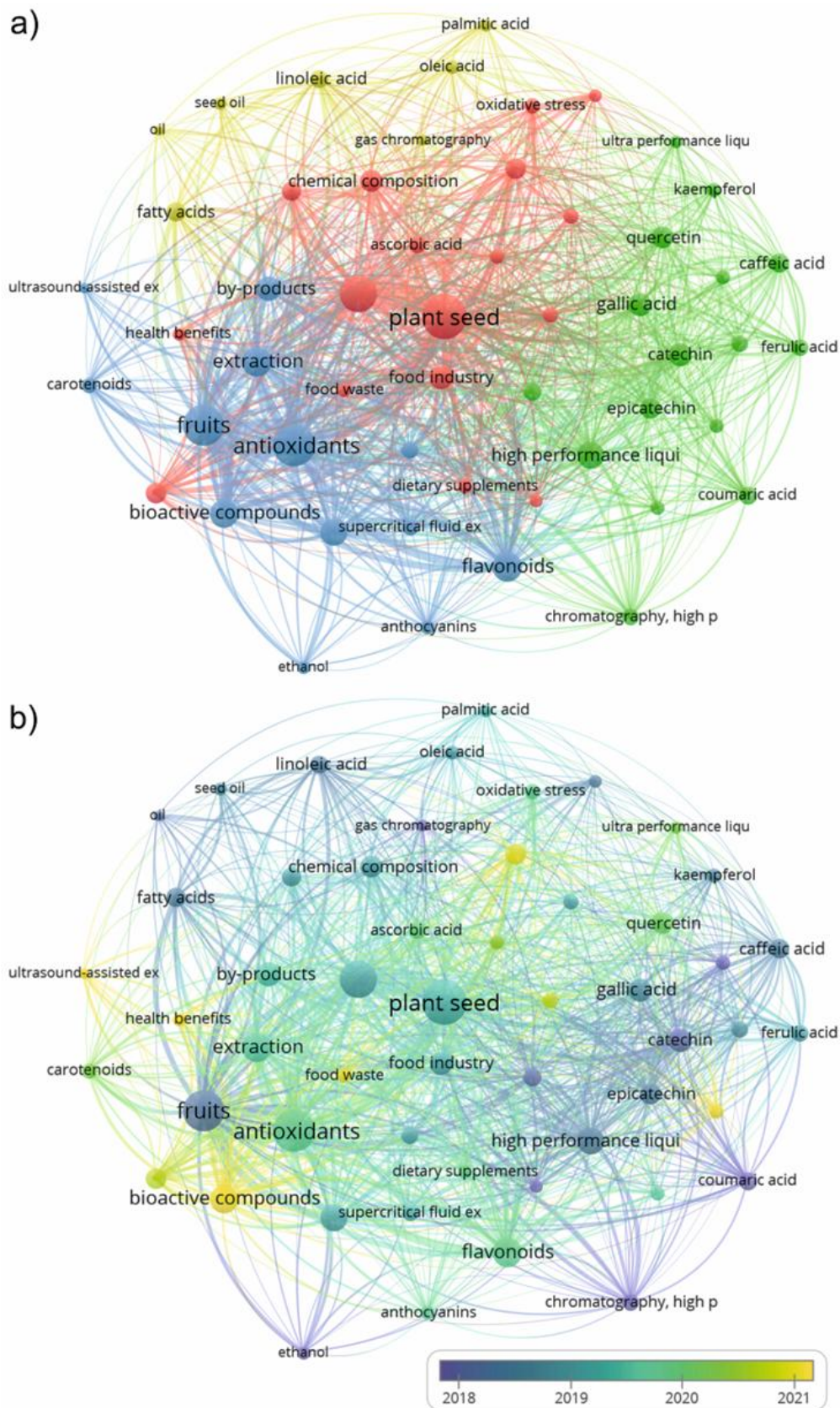


Figura 5. Análisis de coocurrencia de palabras clave. (a) Visualización de redes y clústeres; (b) Visualización de superposición en el tiempo. La data se obtuvo de Scopus (criterios de búsqueda: KEYWORDS: "Fruit" AND "seeds" AND "by-product "; tipo de DOCUMENT TYPE: "ALL"; Período: 2000 a 2025) y utilizando VosViewer (<https://www.vosviewer.com/>).

No obstante, a pesar de estos avances, la información disponible se centra principalmente en la caracterización de su perfil lipídico y proteico, así como en la identificación de compuestos bioactivos con potencial funcional. Estudios futuros deben continuar explorando métodos de extracción más eficientes y sostenibles, como la extracción con CO₂ supercrítico (Ghafoor et al., 2022), el uso de líquidos iónicos (Hayyan et al., 2024) y la encapsulación de compuestos bioactivos por microfluidica y nanofluidica (Siddiqui et al., 2023), que permitan obtener compuestos bioactivos sin comprometer su calidad. Además, es fundamental evaluar la presencia de altas concentraciones de anti nutrientes o contaminantes, así como los métodos de procesamiento que puedan reducir estos compuestos y garantizar su seguridad y viabilidad para el consumo humano (Flores-Jiménez et al., 2024; Okibe et al., 2024; Babalola et al., 2021).

8. Conclusiones

El aprovechamiento de las semillas como subproductos del procesamiento de frutas representa una alternativa sostenible para reducir los desechos orgánicos y maximizar la recuperación de compuestos bioactivos de alto valor agregado. La presente revisión destaca que las semillas de diversas frutas contienen una amplia gama de compuestos químicos, incluyendo lípidos, proteínas, antioxidantes, polifenoles y flavonoides, con aplicaciones potenciales en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. El análisis de tendencias en la literatura científica sugiere un creciente interés en el aprovechamiento de estos subproductos, con especial énfasis en la valorización de aceites y la identificación de compuestos bioactivos.

Es fundamental continuar explorando métodos de extracción más eficientes y sostenibles, como la extracción con CO₂ supercrítico, con líquidos iónicos y nanofluidos, que permitan obtener compuestos bioactivos sin comprometer su calidad. Además, se debe considerar la evaluación de posibles antinutrientes o contaminantes que puedan afectar su seguridad alimentaria y viabilidad para el consumo humano.

Contribución de los autores

L. M. Paucar-Menacho: Conceptualización, investigación, metodología, supervisión, escritura-borrador original, revisión y edición. **J. Campos-Rodríguez:** investigación, metodología, escritura-borrador original, software. **C. Moreno-Rojo:** Escritura-borrador original, Análisis formal, revisión y edición. **S. R. Chuqui-Diestra:** Escritura-borrador original, Análisis formal y Visualización. **S. Eusebio-Lara:** Escritura-borrador original, Análisis formal.

Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

ORCID

L. M. Paucar-Menacho  <https://orcid.org/0000-0001-5349-6167>
J. Campos-Rodríguez  <https://orcid.org/0000-0002-1769-4761>
C. Moreno-Rojo  <https://orcid.org/0000-0002-7143-4450>
S. R. Chuqui-Diestra  <https://orcid.org/0000-0003-2582-2716>
S. Eusebio-Lara  <https://orcid.org/0000-0001-6875-240X>

Referencias bibliográficas

- AbdelFattah, M. S., Badr, S. E., & Elsaid, A. S. (2020). Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Egypt. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.15739/IJAPR.20.001>
- Abiola, T., Falana, L. K., & Adediji, D. O. (2018). Proximate Composition, Phytochemical Analysis and in vivo Antioxidant Activity of Pomegranate Seeds (*Punica granatum*) in Female Albino Mice. *Biochemistry & Pharmacology*, 7(2), 1000250. <https://doi.org/10.4172/2167-0501.1000250>
- Adnan, L., Osman, A., & Abdul Hamid, A. (2011). Antioxidant activity of different extracts of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed. *International Journal of Food Properties* 14(6), 1171-1181. <https://doi.org/10.1080/10942911003592787>
- Adubofuor, J., Akyereko, Y. G., Batsa, V., Apeku, O. J. D., Amoah, I., & Diako, C. (2021). Nutrient composition and physical properties of two orange seed varieties. *International journal of food science*, 2021, 6415620. <https://doi.org/10.1155/2021/6415620>
- Aguilar-Hernández, G., García-Magaña, M. D. L., Vivar-Vera, M. D. L. Á., Sáyago-Ayerdi, S. G., Sánchez-Burgos, J. A., Morales-Castro, J., ... & Montalvo González, E. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Annona muricata* by-products and pulp. *Molecules*, 24(5), 904. <https://doi.org/10.3390/molecules24050904>
- Akram, S., & Mushtaq, M. (2019). Dragon (*Hylocereus megalanthus*) seed oil. En M. Ramadan (Eds.), *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 675-89). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1>
- Al Juhaimi, F., Geçgel, Ü., Gülcü, M., Hamurcu, M., & Özcan, M. M. (2017). Bioactive properties, fatty acid composition and mineral contents of grape seed and oils. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 38(1), 103-108. <https://doi.org/10.21548/38-1-1042>
- Al Juhaimi, F., Özcan, M. M., Uslu, N., Ghafoor, K., & Babiker, E. E. (2018). Effect of microwave heating on phenolic compounds of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) seeds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13437. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13437>
- Aldubayan, M. A. (2018). Qualitative and quantitative characterization of biologically active compounds of red grape (*Vitis vinifera*) seeds Extract. *Journal of Bioscience and Applied Research*, 4(4), 410-417. <https://doi.org/10.21608/jbaar.2018.152438>
- Alfarabi, M., Siagian, F. E., Cing, J. M., Suryowati, T., Turhadi, T., Suyono, M. S., & Naibaho, F. B. (2022). Bioactivity and metabolite profile of papaya (*Carica papaya*) seed extract. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(9), 4589-4600. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230926>
- Allaqaband, S., Dar, A. H., Patel, U., Kumar, N., Nayik, G. A., Khan, S. A., ... & Shaikh, A. M. (2022). Utilization of fruit seed-based bioactive compounds for formulating the nutraceuticals and functional food: A review. *Frontiers in nutrition*, 9, 902554. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902554>
- Alves, E., Simoes, A., & Domingues, M. R. (2021). Fruit seeds and their oils as promising sources of value-added lipids from agro-industrial byproducts: Oil content, lipid composition, lipid analysis, biological activity and potential biotechnological applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(8), 1305-1339. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1757617>
- Ambigaipalan, P., de Camargo, A. C., & Shahidi, F. (2017). Identification of phenolic antioxidants and bioactives of pomegranate seeds following juice extraction using HPLC-DAD-ESI-MSn. *Food Chemistry*, 221, 1883-1894. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.058>
- Amri, Z., Lazreg-Aref, H., Mekni, M., El-Gharbi, S., Dabbaghi, O., Mechri, B., & Hammami, M. (2017). Oil characterization and lipids class

- composition of pomegranate seeds. *BioMed research international*, 2037341. <https://doi.org/10.1155/2017/2037341>
- Andasuryani, A., Zainal, P. W., & Ifmalinda, I. (2020). Chemical characteristic of sweet passion fruit (*Passiflora ligularis* Juss) seeds from Indonesia based on maturity levels. *Journal of Physics: Conference Series*, 1469(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/17426596/1469/1/012001>
- Angelova-Romova, M. Y., Simeonova, Z. B., Petkova, Z. Y., Antova, G. A., & Teneva, O. T. (2019). Lipid composition of watermelon seed oil. *Bulgarian Chemical Communications*, 51(D), 268-272.
- Antoniassi, R., Wilhelm, A. E., Reis, S. L. R., Regis, S. A., Faria-Machado, A. F., Bizzo, H. R., & Cenci, S. A. (2022). Expeller pressing of passion fruit seed oil: Pressing efficiency and quality of oil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021168. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16821>
- Anoniasamy, A. J., Marimuthu, S., Malayandi, S., Rajendran, K., Lin, Y. C., Andaluri, G., Lee, S. L., & Ponnusamy, V. K. (2023). Sustainable approaches on industrial food wastes to value-added products—A review on extraction methods, characterizations, and its biomedical applications. *Environmental Research*, 217, 114758. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114758>.
- Artica Mallqui, L., Baquerizo Canchumanya, M., Rosales Papa, H., & Rodríguez Paucar, G. (2021). Ácidos grasos, tocoferoles y fitoesteres en aceites de semillas de granadilla y zapallo extraído con CO₂ supercrítico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 3-13. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.317>.
- Babalola, J. O., Adesina, D. A., Alabi, O. O., Adepoju, M. R., Bamisaiye, Y. O., & Awotunde, B. R. (2021). Effect of processing method on proximate, minerals, phytochemicals and anti-nutrients present in Baobab seeds (*Adansonia digitata*). *GSC Advanced Research and Reviewa*, 6(3), 1-10. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2021.6.3.0007>
- Biswas, R., Ghosal, S., Chattopadhyay, A., & Datta, S. (2017). A comprehensive review on watermelon seed oil—An underutilized product. *IOSR Journal of Pharmacy*, 7(11), 01-07.
- Bocco, A., Cuvelier, M. E., Richard, H., & Berset, C. (1998). Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(6), 2123-2129. <https://doi.org/10.1021/jf9709562>
- Bolaji, O. T., Adeyeye, S. A. O., & Ogunmuyiwa, D. (2022). Quality evaluation of bread produced from whole wheat flour blended with watermelon seed flour. *Journal of Culinary Science & Technology*, 22(4), 607-630. <https://doi.org/10.1080/15428052.2022.2068466>
- Borouhshaki, M. T., Mollazadeh, H., & Afshari, A. R. (2016). Pomegranate seed oil: A comprehensive review on its therapeutic effects. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(2), 430-442. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7\(2\).430-42](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.7(2).430-42)
- Bouaouich, A., Bouguerche, F., Mahiaoui, H., Peron, G., & Bendif, H. (2023). Phytochemical elucidation and antioxidant activity of seeds from three prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cultivars from Algeria. *Applied Sciences*, 13(3), 1444. <https://doi.org/10.3390/app13031444>
- Boyapati, T., Rana, S. S., & Ghosh, P. (2023). Microwave-assisted extraction of dragon fruit seed oil: Fatty acid profile and functional properties. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(3), 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.08.001>
- Braga, L. P., Amorim, K. A., Goulart, G. A. S., Asquieri, E. R., & Damiani, C. (2024). Mini cakes prepared with press-cake flour obtained from the oil extraction from araticum seeds (*Annona crassiflora* Mart.). *Food Science and Technology*, 44. <https://doi.org/10.5327/fst.00078>
- Braide, W. O. I. J., Odiong, I. J., & Oranus, S. (2012). Phytochemical and Antibacterial properties of the seed of watermelon (*Citrullus lanatus*). *Prime Journal of Microbiology Research*, 2(3), 99-104.
- Cassani, L., & Gomez-Zavaglia, A. (2022). Sustainable food systems in fruits and vegetables food supply chains. *Frontiers in Nutrition*, 9, 829061. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.829061>
- Cesar, M. B., Barbalho, S. M., Otoboni, A. M. M. B., & Quesada, K. (2022). Possible industrial applications of passion fruit oil. *International Journal of Development Research*, 12(2), 53855-53858. <https://doi.org/10.37118/ijdr.23942.02.2022>
- Chen, L., Li, D., Zhu, C., Ma, X., & Rong, Y. (2021). Fatty acids and flavor components in the oil extracted from golden melon seeds. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(4), 2000233. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000233>
- Cheok, C. Y., Mohd Adzahan, N., Abdul Rahman, R., Zainal Abedin, N. H., Hussain, N., Sulaiman, R., & Chong, G. H. (2018). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(3), 335-361. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1176009>
- Choe, U., Childs, H., Zeng, M., Zheng, W., Zhu, H., Zhu, L., Xie, Z., Gao, B., & Yu, L. (2022). Value-added utilization of fruit seed oils for improving human health: A progress review. *ACS Food Science & Technology*, 3(4), 528-538. <https://doi.org/10.1021/acsfodsctech.2c00120>
- Chóez, I., Herrera, D., Miranda, M., & Manzano, P. I. (2015). Chemical composition of essential oils of shells, juice and seeds of *Passiflora ligularis* Juss from Ecuador. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(8), 650-653. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015.04.039>
- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidi, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food chemistry*, 139(1-4), 796-803. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.054>
- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidi, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food chemistry*, 139(1-4), 796-803. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.054>
- da Costa, C. A. R., Machado, G. G. L., Rodrigues, L. J., de Barros, H. E. A., Ntarelli, C. V. L., & Boas, E. V. D. B. V. (2023). Phenolic compounds profile and antioxidant activity of purple passion fruit's pulp, peel and seed at different maturation stages. *Scientia Horticulturae*, 321, 112244. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112244>
- da Silva, A. C., & Jorge, N. (2016). Bioactive compounds of oils extracted from fruits seeds obtained from agroindustrial waste. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(4), 1600024. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600024>
- de Araujo, F. F., de Paulo Farias, D., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Underutilized plants of the Cactaceae family: Nutritional aspects and technological applications. *Food Chemistry*, 362, 130196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130196>
- de Araújo, F. F., de Paulo Farias, D., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. *Food chemistry*, 338, 127535. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535>
- De Wit, M., Hugo, A., & Shongwe, N. (2017). Quality assessment of seed oil from selected cactus pear cultivars (*Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*). *Journal of food processing and preservation*, 41(3), e12898. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12898>
- Dos Reis, L. C. R., Faccio, E. M. P., Salvador, M., Flores, S. H., & de Oliveira Rios, A. (2018). Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2679-2691. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3190-2>
- Doshi, P., Adsule, P., Banerjee, K., & Oulkar, D. (2015). Phenolic compounds, antioxidant activity and insulinotropic effect of extracts prepared from grape (*Vitis vinifera* L.) byproducts. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 181-190. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0991-1>
- Egbuonu, A. C. C., Harry, E. M., & Orji, I. A. (2016). Comparative proximate and antibacterial properties of milled *Carica papaya* (pawpaw) peels and seeds. *British Journal of Pharmaceutical Research*, 12(1), 1-8. <https://doi.org/10.9734/BJPR/2016/26808>
- Elagbar, Z. A., Naik, R. R., Shakyia, A. K., & Bardaweel, S. K. (2016). Fatty acids analysis, antioxidant and biological activity of fixed oil of

- Annona muricata* L. seeds. *Journal of Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6948098>
- El-Safy, F. S., Salem, R. H., & Abd El-Ghany, M. E. (2012). Chemical and nutritional evaluation of different seed flours as novel sources of protein. *World Journal of Dairy & food sciences*, 7(1), 59-65. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2012.7.1.612>
- Enemor, V., Oguazu, C., Odiakosa, A., & Okafor, S. (2019). Evaluation of the medicinal properties and possible nutrient composition of *Citrullus lanatus* (Watermelon) seeds. *Research Journal of Medicinal Plants*, 13(4), 129-135.
- Fadimu, G. J., Ghafoor, K., Babiker, E. E., Al-Juhaimi, F., Abdulraheem, R. A., & Adenekan, M. K. (2020). Ultrasound-assisted process for optimal recovery of phenolic compounds from watermelon (*Citrullus lanatus*) seed and peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1784-1793. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00426-z>
- Farag, M. A., Eldin, A. B., & Khalifa, I. (2022). Valorization and extraction optimization of *Prunus* seeds for food and functional food applications: A review with further perspectives. *Food Chemistry*, 388, 132955. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132955>
- Fidelis, M., de Moura, C., Kabbas Junior, T., Pap, N., Mattila, P., Mäkinen, S., Putnik, P., Kovačević, D., Tian, Y., Yang, B., & Granato, D. (2019). Fruit seeds as sources of bioactive compounds: Sustainable production of high value-added ingredients from by-products within circular economy. *Molecules*, 24(21), 3854. <https://doi.org/10.3390/molecules24213854>
- Fierascu, R. C., Sieniawska, E., Ortan, A., Fierascu, I., & Xiao, J. (2020). Fruits by-products—A source of valuable active principles. A short review. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 319. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00319>
- Flores-Jiménez, N. T., Ulloa, J. A., & Urias-Silvas, J. E. (2024). Assessment of the physicochemical, functional and structural characteristics of a defatted flour from guamuchil (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) seeds. *Future Foods*, 9, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100351>
- Folayan, A. J., Anawe, P. A. L., Aladejare, A. E., & Ayeni, A. O. (2019). Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass. *Energy Reports*, 5, 793-806. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.06.013>
- Fourati, M., Smaoui, S., Hlima, H. B., Elhadek, K., Braïek, O. B., Ennouri, K., Mtibaa, A., & Mellouli, L. (2020). Bioactive compounds and pharmacological potential of pomegranate (*Punica granatum*) seeds—a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 477-486. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00863-7>
- Fragassa, C., Vannucchi de Camargo, F., & Santulli, C. (2024). Sustainable biocomposites: Harnessing the potential of waste seed-based fillers in eco-friendly materials. *Sustainability*, 16(4), 1526. <https://doi.org/10.3390/su16041526>
- Fundo, J. F., Miller, F. A., Garcia, E., Santos, J. R., Silva, C. L., & Brandão, T. R. (2018). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity in juice, pulp, peel and seeds of Cantaloupe melon. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 292-300. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9640-0>
- Garavaglia, J., Markoski, M. M., Oliveira, A., & Marcadenti, A. (2016). Grape seed oil compounds: Biological and chemical actions for health. *Nutrition and metabolic insights*, 9, NMI-532910. <https://doi.org/10.4137/NMI.532910>
- Ghafoor, K., Sarker, M. Z. I., Al-Juhaimi, F. Y., Babiker, E. E., Alkaltham, M. S., & Almubarak, A. K. (2022). Extraction and evaluation of bioactive compounds from date (*Phoenix dactylifera*) seed using supercritical and subcritical CO₂ techniques. *Foods*, 11(12), 1806. <https://doi.org/10.3390/foods11121806>
- Goula, A. M., Papatheodorou, A., Karasavva, S., & Kaderides, K. (2018). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9740-9>
- Hall, R. M., Mayer, D. A., Mazzutti, S., & Ferreira, S. R. S. (2018). Simulating large scale SFE applied to recover bioactive compounds from papaya seeds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 140, 302-309. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.07.013>
- Hamda, A. S., Muleta, M. D., Jayakumar, M., Periyasamy, S., & Gurunathan, B. (2024). Valorization of Fruit Processing Industry Waste into Value-Added Chemicals. In *Value Added Products From Food Waste* (pp. 107-126). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48143-7_6
- Hanaa, M., Elshafie, M., Ismail, H., Mahmoud, M., & Ibrahim, H. (2015). Chemical studies and phytochemical screening of grape seeds (*Vitis Vinifera* L.). *Minia Journal of Agricultural Research and Development*, 35(2), 313-325.
- Hayyan, A., Abed, K. M., Hayyan, M., Salleh, M. Z. M., Keat, C. W., Ng, Y. S., Hizaddin, H. F., Mohd, M. R., Hashim, M. A., Alanazi, Y. M., Saleh, J., Gupta, B. S., & Putra, S. S. S. (2024). Ultrasonic assisted extraction of oil from argan seeds using ionic liquids as novel co-solvent. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05847-0>
- He, L., Zhang, X., Xu, H., Xu, C., Yuan, F., Knez, Z., Novak, Z., & Gao, Y. (2012). Subcritical water extraction of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) seed residues and investigation into their antioxidant activities with HPLC-ABTS+ assay. *Food Bioprod Process*, 90(2), 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.03.003>
- Hoque, M., Gupta, S., Santhosh, R., Syed, I., & Sarkar, P. (2021). Biopolymer-based edible films and coatings for food applications. In *Food, medical, and environmental applications of polysaccharides* (pp. 81-107). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819239-9.00013-0>
- Ikeda, M., de Melo, A. M., Costa, B. P., Barbi, R. C. T., & Ribani, R. H. (2021). Nutritional and bioactive composition of achachairu (*Garcinia humilis*) seed flour: A potential ingredient at three stages of ripening. *LWT*, 152, 112251. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112251>
- Iwuagwu, M. O., Solomon, C. U., & Amanze, J. E. (2018). Physicochemical analysis and characterization of edible oil from seeds of orange (*Citrus sinensis* L.) and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 6(4), 35-40.
- Jadhav, R. M., Naik, R. M., & Dodake, S. S. (2017). Proximate composition, mineral content and oil quality of watermelon (*Citrullus lanatus*) seeds. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 30(1), 92-96. <https://dx.doi.org/10.5958/0974-4479.2017.00014.4>
- Kapoor, S., Gandhi, N., Tyagi, S. K., Kaur, A., & Mahajan, B. (2020). Extraction and characterization of guava seed oil: a novel industrial byproduct. *LWT*, 132, 109882. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109882>
- Kawakami, S., Morinaga, M., Tsukamoto-Sen, S., Mori, S., Matsui, Y., & Kawama, T. (2021). Constituent characteristics and functional properties of passion fruit seed extract. *Life*, 12(1), 38. <https://doi.org/10.3390/life12010038>
- Khalid, W., Ikram, A., Rehan, M., Afzal, F. A., Ambreen, S., Ahmad, M., Aziz, A., & Sadiq, A. (2021). Chemical composition and health benefits of melon seed: A Review. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 34, 309-317. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.309.317>
- Khemakhem, M., Zarroug, Y., Jabou, K., Selmi, S., & Bouzouita, N. (2021). Physicochemical characterization of oil, antioxidant potential, and phenolic profile of seeds isolated from Tunisian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Journal of Food Science*, 86(3), 852-859. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15636>
- Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Miedzianka, J., Andreu-Coll, L., Legua, P., & Hernandez, F. (2020). Characterization of bioactive compounds of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. seeds from Spanish cultivars. *Molecules*, 25(23), 5734. <https://doi.org/10.3390/molecules25235734>
- Krishnamachari, H., & Nithyalakshmi, V. (2017). Phytochemical analysis and antioxidant potential of *Cucumis melo* seeds. *International*

- Journal of Life Sciences Research*, 3, 863-867. <https://doi.org/10.21276/jlssr.2017.3.119>
- Krist, S. (2020). Pomegranate seed oil. *Vegetable Fats and Oils*. Springer Nature, 605-609. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30314-3>
- Kumar, H., Dhalaria, R., Guleria, S., Sharma, R., Kumar, D., Verma, R., ... & Kuca, K. (2023). Non-edible fruit seeds: nutritional profile, clinical aspects, and enrichment in functional foods and feeds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-20.
- Kumar, H., Kimta, N., Guleria, S., Cimler, R., Sethi, N., Dhanjal, D. S., ... & Kuca, K. (2024). Valorization of non-edible fruit seeds into valuable products: A sustainable approach towards circular bioeconomy. *Science of the Total Environment*, 171142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171142>
- Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
- Kumar, M., Prakash, S., Sharma, N., Kumari, N., Waghmare, R., & Sharma, K. (2024). Potential of fruit seed waste for improving the sustainability of fruit processing industry. In *Valorization of Fruit Seed Waste from Food Processing Industry* (pp. 1-25). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15535-2.00008-6>
- Kumar, S. J., Prasad, S. R., Banerjee, R., Agarwal, D. K., Kulkarni, K. S., & Ramesh, K. V. (2017). Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. *Chemistry Central Journal*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0238-8>
- Kumari, N., Kumar, M., Puri, S., Baohong, Z., Rais, N., Pundir, A., Chandran, D., Raman, P., Dhumal, S., Dey, A., Senapathy, M., Kumar, S., Pokharel, B. R., Deshmukh, V., Damale, R. D., Thyagarajan, A., Balamurgan, V., Sathish, G., Singh, S., & Lorenzo, J. M. (2023). Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) seeds and kernels as potential plant-based functional food ingredients: A review of bioactive compounds and health-promoting activities. *Food Bioscience*, 54, 102914. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102914>
- Lagou, V. C., Konan, N. Y., & Assa, R. R. (2018). Physicochemical and nutritive characteristics of the residues deriving from the oranges (*Citrus sinensis* L.) consumed in Côte d'Ivoire. *Journal of new sciences*, 58, 3777-3785.
- Li, X., Qi, B., Zhang, S., & Li, Y. (2023). Food omics revealed the effects of ultrasonic extraction on the composition and nutrition of cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) seed oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 97, 106459. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106459>
- Liu, Y., Tu, X., Lin, L., Du, L., & Feng, X. (2022). Analysis of lipids in pitaya seed oil by ultra-performance liquid chromatography–time-of-flight tandem mass spectrometry. *Foods*, 11(19), 2988. <https://doi.org/10.3390/foods11192988>
- Liu, Z., de Souza, T. S., Holland, B., Dunshea, F., Barrow, C., & Suleria, H. A. (2023). Valorization of food waste to produce value-added products based on its bioactive compounds. *Processes*, 11(3), 840. <https://doi.org/10.3390/pr11030840>
- Loiy, E., Hassan, A., Hasnah, M. S., Ahmed, Y., Asking, M., Koko, W. S., & Siddig, A. I. (2011). In vitro anti-microbial activities of chloroformic, hexane & ethanolic extracts of *C. lanatus* var. citroides. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 1338-1344.
- Loizzo, M. R., Pacetti, D., Lucci, P., Núñez, O., Menichini, F., Frega, N. G., & Tundis, R. (2015). *Prunus persica* var. platycarpa (*Tabacchiera Peach*): bioactive compounds and antioxidant activity of pulp, peel and seed ethanolic extracts. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70, 331-337. <https://doi.org/10.1007/s11310-015-0498-1>
- Lorenzo, J. M., Mousavi Khaneghah, A., Gavahian, M., Marszałek, K., Eş, I., Muneke, P. E., ... & Barba, F. J. (2019). Understanding the potential benefits of thyme and its derived products for food industry and consumer health: From extraction of value-added compounds to the evaluation of bioaccessibility, bioavailability, anti-inflammatory, and antimicrobial activities. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(18), 2879-2895. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1477730>
- Lucarini, M., Durazzo, A., Raffo, A., Giovannini, A., & Kiefer, J. (2019). Dragon (*Hylocereus megalanthus*) seed oil. En M. Ramadan (Eds.), *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 577-603). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_29
- Mahato, N., Sinha, M., Sharma, K., Koteswararao, R., & Cho, M. H. (2019). Modern extraction and purification techniques for obtaining high purity foodgrade bioactive compounds and value-added co-products from citrus wastes. *Foods*, 8(11), 523. <https://doi.org/10.3390/foods8110523>
- Mahla, H. R., Rathore, S. S., Venkatesan, K., & Sharma, R. (2018). Analysis of fatty acid methyl esters and oxidative stability of seed purpose watermelon (*Citrullus lanatus*) genotypes for edible oil. *Journal of food science and technology*, 55, 1552-1561. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3074-5>
- Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N., & Kechaou, N. (2018). Chemical composition and bioactive compounds of *Cucumis melo* L. seeds: Potential source for new trends of plant oils. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.016>
- Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N., & Kechaou, N. (2019). *Cucumis melo* L. seeds as a promising source of oil naturally rich in biologically active substances: compositional characteristics, phenolic compounds and thermal properties. *Grasas aceites*, 70(1), e284. <https://doi.org/10.3989/gya.0215181>
- Maman, R., & Yu, J. (2019). Chemical composition and particle size of grape seed flour and their effects on the characteristics of cookies. *Journal of Food Research*, 8(4), 111-121. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n4p111>
- Manaf Yanty, N. A., Nazrim Marikar, J. M., Nusantara, B. P., Long, K., & Ghazali, H. M. (2014). Physico-chemical characteristics of papaya (*Carica papaya* L.) seed oil of the Hong Kong/Sekaki variety. *Journal of Oleo Science*, 63(9), 885-892. <https://doi.org/10.5650/jos.ess13221>
- Menezes, E. G. T., Oliveira, E. R., Carvalho, G. R., Guimaraes, I. C., & Queiroz, F. (2019). Assessment of chemical, nutritional and bioactive properties of *Annona crassiflora* and *Annona muricata* wastes. *Food Science and Technology*, 39(2), 662-672. <https://doi.org/10.1590/fst.22918>
- Mesquita, P. C., Rodrigues, L. G. G., Mazzutti, S., da Silva, M., Vitali, L., & Lanza, M. (2021). Intensified green-based extraction process as a circular economy approach to recover bioactive compounds from soursop seeds (*Annona muricata* L.). *Food chemistry: X*, 12, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100164>
- Moieni, A., Pedram, P., Fattahi, E., Cerutti, P., & Santagata, G. (2022). Edible polymers and secondary bioactive compounds for food packaging applications: Antimicrobial, mechanical, and gas barrier properties. *Polymers*, 14(12), 2395. <https://doi.org/10.3390/polym14122395>
- Mohamed, H. B., Duba, K. S., Fiori, L., Abdelgawed, H., Tlili, I., Tounekti, T., & Zrig, A. (2016). Bioactive compounds and antioxidant activities of different grape (*Vitis vinifera* L.) seed oils extracted by supercritical CO₂ and organic solvent. *LWT*, 74, 557-562. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.023>
- Moreno Luzia, D. M., & Jorge, N. (2012). Soursop (*Annona muricata* L.) and sugar apple (*Annona squamosa* L.). *Nutrition & Food Science*, 42(6), 434-441. <https://doi.org/10.1108/00346651211277690>
- Mustafa, M. A. M., Sorour, M. A. H., Mehanni, A. H. E. S., & Hussien, S. M. (2023). Amino acid profile, physico-chemical properties and fatty acids composition of some fruit seed kernels after detoxification. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00412-9>
- Nayak, A., Mukherjee, A., Kumar, S., & Dutta, D. (2024). Exploring the potential of jujube seed powder in polysaccharide based functional film: Characterization, properties and application in fruit preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 260, 129450. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129450>
- Neglo, D., Tettey, C. O., Essuman, E. K., Kortei, N. K., Boakyie, A. A., Hunkpe, G., Amarah, F., Kwashie, P., & Devi, W. S. (2021). Comparative antioxidant and antimicrobial activities of the peels, rind, pulp and seeds of watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit. *Scientific African*, 11, e00582. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00582>

- Nguyen, L. N. B., Nguyen, H. P., Tran, T. T. T., & Nguyet, T. N. M. (2022). Effects of enzymatic treatment on seed mucilage degradation and air-drying temperature on quality attributes of dragon fruit seeds (*Hylocereus* spp.). *VNUHCM Journal of Engineering and Technology*, 5(1), 1407-1416. <https://doi.org/10.32508/stdjet.v5i1.946>
- Nimal, N. P., Khanashyam, A. C., Mundanat, A. S., Shah, K., Babu, K. S., Thorakkattu, P., Al-Asmari, F., & Pandiselvam, R. (2023). Valorization of fruit waste for bioactive compounds and their applications in the food industry. *Foods*, 12(3), 556. <https://doi.org/10.3390/foods12030556>
- Nolasco-González, Y., Hernández-Fuentes, L. M., & Montalvo González, E. (2019). Morphological and physicochemical characterization of selected soursop accessions fruits in Nayarit. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(spe23), 223-237. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2023>
- Nordin, N. A., Abdullah, N., Caliskan, A., Pindi, W., & Hamzah, Y. (2024). Jackfruit seed as flour alternative in cookies: a consumer acceptability study. *Journal of Tourism, Hospitality and Culinary Arts*, 16(1), 41-54.
- Nowicka, P., & Wojdyło, A. (2019). Content of bioactive compounds in the peach kernels and their antioxidant, anti-hyperglycemic, anti-aging properties. *European Food Research and Technology*, 245(5), 1123-1136. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3214-1>
- Ocampo, J., Arias, J. C., & Urrea, R. (2015). Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 9-23. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3742>
- Oikeh, E. I. (2014). Phenolic content and in vitro antioxidant activities of sweet orange (*Citrus sinensis* L.) fruit wastes. *Archives of Basic and Applied Medicine*, 2(2), 119-126.
- Oikeh, E. I., Ayeubumwan, M., Irabor, F., Oikeh, A. O., Oviasogie, F. E., & Omoregie, E. S. (2020). Evaluation of the phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of oil and non-oil extracts of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck seeds. *Preventive Nutrition and Food Science*, 25(3), 280-285. <https://doi.org/10.3746/pnf.2020.25.3.280>
- Okibe, F. G., Hwork, D. J., Saidu, A., Echiola, S., Ogbah, E., Adagayi, M. A., ... & Adoga, S. O. (2023). Proximate, mineral and antinutrient composition of avocado (*Persea Americana*) seeds and peels. *Nigerian Annals of Pure and Applied Sciences*, 6(1). <https://napas.org.ng/index.php/napas/article/view/355>
- Olamide, A. A., Olayemi, O. O., Demetrius, O. O., Olatoye, O. J., & Kehinde, A. A. (2011). Effects of methanolic extract of *Citrullus lanatus* seed on experimentally induced prostatic hyperplasia. *European Journal of Medicinal Plants*, 7(4), 171-179.
- Olubunmi, I. P., Olajumoke, A. A., Bamidele, J. A., & Omolara, O. F. (2019). Phytochemical composition and in vitro antioxidant activity of golden melon (*Cucumis melo* L.) seeds for functional food application. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 25(2), 1-13. <https://doi.org/10.9734/ijbcr/2019/v25i230070>
- Onuoha, C. H., Nwachukwu, C. C., Nwachukwu, R. T., Nwogu, C. G., Chukwudoruo, C. S., & Ujowundu, F. N. (2021). Comparative evaluation of proximate composition and anti-sickling potential of *Annona muricata* Linn seeds and leaves. *AROC in Natural Products Research*, 1(2), 29-35. <https://doi.org/10.53858/arocnpr01022935>
- Orak, H. H., Bahrsefit, I. Ş., & Şabudak, T. (2019). Antioxidant activity of extracts of soursop (*Annona muricata* L.) leaves, fruit pulps, peels, and seeds. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(4), 359-366. <https://doi.org/10.31883/pjfn.112654>
- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., & Kulkarni, B. D. (2019). Waste to wealth: a case study of papaya peel. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 1755-1766. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0181-x>
- Patra, A., Abdullah, S., & Pradhan, R. C. (2022). Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1), 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00498-3>
- Paul, A., & Radhakrishnan, M. (2020). Pomegranate seed oil in food industry: Extraction, characterization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.014>
- Peixoto, C. M., Dias, M. I., Alves, M. J., Calhelha, R. C., Barros, L., Pinho, S. P., & Ferreira, I. C. (2018). Grape pomace as a source of phenolic compounds and diverse bioactive properties. *Food chemistry*, 253, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.163>
- Pereira, M. G., Hamerski, F., Andrade, E. F., Scheer, A. D. P., & Corazza, M. L. (2017). Assessment of subcritical propane, ultrasound-assisted and Soxhlet extraction of oil from sweet passion fruit (*Passiflora alata* Curtis) seeds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 128, 338-348. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.03.021>
- Petchsomrit, A., McDermott, M. I., Chanroj, S., & Choksawangkam, W. (2020). Watermelon seeds and peels: fatty acid composition and cosmeceutical potential. *Oléagineux Corps gras Lipides*, 27(54), 1-9. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020051>
- Petkova, Z., & Antova, G. (2015). Proximate composition of seeds and seed oils from melon (*Cucumis melo* L.) cultivated in Bulgaria. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), 1018779. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1018779>
- Raja, M. P., Praveen Raja, M., Karthiayani, A., Selvan, P., & Nithyalakshmi, V. (2019). Production of extruded snacks by utilization of watermelon (*Citrullus vulgaris*) seed flour. *Journal of Postharvest Technology*, 7(3), 56-67.
- Ramaiya, S. D., Bujang, J. S., & Zakaria, M. H. (2018). Nutritive values of passion fruit (*Passiflora* species) seeds and its role in human health. *Journal of Agriculture Food and Development*, 4(1), 23-30. <https://doi.org/10.30635/2415-0142.2018.04.4>
- Ray, A., Dubey, K. K., Marathe, S. J., & Singhal, R. (2023). Supercritical fluid extraction of bioactives from fruit waste and its therapeutic potential. *Food Bioscience*, 52, 102418. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102418>
- Reda, T. H., & Atspha, M. K. (2019). Nutritional composition, antinutritional factors, antioxidant activities, functional properties, and sensory evaluation of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) seeds grown in tigray region, Ethiopia. *International journal of food science*, 2019, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2019/5697052>
- Redondo, D., Gimeno, D., Calvo, H., Venturini, M. E., Oria, R., & Arias, E. (2021). Antioxidant activity and phenol content in different tissues of stone fruits at thinning and at commercial maturity stages. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 1861-1875. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01133-y>
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (Eds.). (2006). Handbook of enology, Volume 1: The microbiology of wine and vinifications (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Rodrigues, L. G. G., Mazzutti, S., Vitali, L., Micke, G. A., & Ferreira, S. R. S. (2019). Recovery of bioactive phenolic compounds from papaya seeds agroindustrial residue using subcritical water extraction. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101367>
- Rodríguez-Blázquez, S., Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., León-González, M. E., García-Sánchez, B., & Miranda, R. (2023). Valorization of prunus seed oils: Fatty acids composition and oxidative stability. *Molecules*, 28(20), 7045. <https://doi.org/10.3390/molecules28207045>
- Roobab, U., & Maqsood, S. (2024). Recent developments on utilising diverse plant seed flours as novel functional ingredients for noodle formulation and their impact on quality attributes. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(2), 1082-1093. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16737>
- Roy, S., Zhang, W., Biswas, D., Ramakrishnan, R., & Rhim, J. W. (2023). Grapefruit seed extract-added functional films and coating for active packaging applications: A review. *Molecules*, 28(2), 730. <https://doi.org/10.3390/molecules28020730>
- Sahu, P. K., Cervera-Mata, A., Chakradhari, S., Singh Patel, K., Towett, E. K., Quesada-Granados, J. J., ... & Rufián-Henares, J. A. (2022). Seeds as potential sources of phenolic compounds and minerals for the Indian population. *Molecules*, 27(10), 3184. <https://doi.org/10.3390/molecules27103184>
- Saleem, M., Javed, F., Asif, M., Kashif Baig, M., & Arif, M. (2019). HPLC analysis and in vivo renoprotective evaluation of hydroalcoholic

- extract of *Cucumis melo* seeds in gentamicin-induced renal damage. *Medicina*, 55(4), 107. <https://doi.org/10.3390/medicina55040107>
- Sánchez-Salcedo, E. M., Sendra, E., Carbonell-Barrachina, Á. A., Martínez, J. J., & Hernández, F. (2016). Fatty acids composition of Spanish black (*Morus nigra* L.) and white (*Morus alba* L.) mulberries. *Food Chemistry*, 190, 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.008>
- Santos, O. V. D., Vieira, E. L. S., Soares, S. D., Conceição, L. R. V. D., Nascimento, F. D. C. A. D., & Teixeira-Costa, B. E. (2020). Utilization of agroindustrial residue from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds as a source of fatty acids and bioactive substances. *Food Science and Technology*, 41(1), 218–225. <https://doi.org/10.1590/fst.16220>
- Santos, T. R. J., Barbosa, P. F., Rodrigues, H. A., Narain, N., & de Aquino Santana, L. L. (2019). Granadilla seed extract as antimicrobial and bioactive compounds source: mathematical modelling of extraction conditions. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(2), 157–170. <https://doi.org/10.3920/QAS2018.1315>
- Santos, T. R., Feitosa, P. R., Gualberto, N. C., Narain, N., & Santana, L. C. (2021). Improvement of bioactive compounds content in granadilla (*Passiflora ligularis*) seeds after solid-state fermentation. *Food Science and Technology International*, 27(3), 234–241. <https://doi.org/10.1177/1082013220944009>
- Schinas, P., Zannikos, F., Anastopoulos, G., Karonis, D., Voulgaraki, S., Gourniezaki, A., Zannikou, Y., & Kalligeros, S. (2017). Converting apricot seed oil (*Prunus armeniaca*) and peach seed oil (*Prunus persica*) into biodiesel. *SciFed Journal of Biofuel and Bioenergetics*, 1(1), 1–9.
- Senrayan, J., & Venkatachalam, S. (2018). Solvent-assisted extraction of oil from papaya (*Carica papaya* L.) seeds: evaluation of its physicochemical properties and fatty-acid composition. *Separation Science and Technology*, 53(17), 1–8. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1480632>
- Serra, J. L., da Cruz Rodrigues, A. M., de Freitas, R. A., de Almeida Meirelles, A. J., Darnet, S. H., & da Silva, L. H. M. (2019). Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocopherols, total carotenoids and chemical composition. *Food research international*, 116, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.028>
- Shahid, I., & Dildar, A. (2011). Nutritional and physicochemical studies on fruit pulp, seed and shell of indigenous *Prunus persica*. *Journal of Medicinal plants research*, 5(16), 3917–3921.
- Sharma, K., & Akansha, C. E. (2018). Comparative studies of proximate, mineral and phytochemical compositions of pomegranate (*Punica granatum*) in peel, seed and whole fruit powder. *Methods*, 3(2), 192–196.
- Si, X., Lyu, S., Hussain, Q., Ye, H., Huang, C., Li, Y., Huang, J., Chen, J., & Wang, K. (2023). Analysis of Delta (9) fatty acid desaturase gene family and their role in oleic acid accumulation in *Carya cathayensis* kernel. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1193063>
- Siano, F., Straccia, M. C., Paolucci, M., Fasulo, G., Boscaino, F., & Volpe, M. G. (2015). Physico-chemical properties and fatty acid composition of pomegranate, cherry and pumpkin seed oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1730–1735. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7279>
- Siddiqui, S. A., Farooqi, M. Q. U., Bhowmik, S., Zahra, Z., Mahmud, M. C., Assadpour, E., Gan, R. Y., Kharazmi, M. S., & Jafari, S. M. (2023). Application of micro/nano-fluidics for encapsulation of food bioactive compounds-principles, applications, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 136, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.025>
- Silva, L. D. O., Ranquine, L. G., Monteiro, M., & Torres, A. G. (2019). Pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil enriched with conjugated linolenic acid (cLnA), phenolic compounds and tocopherols: Improved extraction of a specialty oil by supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 147, 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.02.019>
- Simeon, E. O., Amamiliom, N. S., & Azuka, I. W. (2018). Metal assessment and phytochemical screening of orange fruit (*Citrus sinensis*) seeds and peels. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 709–714.
- Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food wastes: Are they safe enough for their valorization?. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.002>
- Sugiharto, S. (2020). Papaya (*Carica papaya* L.) seed as a potent functional feedstuff for poultry—A review. *Veterinary World*, 13(8), 1613–1619. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.1613-1619>
- Sushmitha, H. S., Roy, C. L., Gogoi, D., Velagala, R. D., Nagarathna, A., Balasubramanian, S., & Rajadurai, M. (2018). Phytochemical and pharmacological studies on *Hylocereus undatus* seeds: An in vitro approach. *World Journal of Pharmacological Research*, 7(14), 986–1006. <https://doi.org/10.20959/wjpr201814-12957>
- Tabiri, B., Agbenorhevi, J. K., Wireko-Manu, F. D., & Ompouma, E. I. (2016). Watermelon seeds as food: Nutrient composition, phytochemicals and antioxidant activity. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(2), 139–144. <https://doi.org/10.11648/j.jnfs.20160502.18>
- Taborda, J. A. V., Arango, W. M., Arteaga, J. J. M., & Almonacid, C. M. G. (2021). Encapsulation of bioactive compounds from byproducts of two species of passionflowers: evaluation of the physicochemical properties and controlled release in a gastrointestinal model. *Heliyon*, 7(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07627>
- Tan, W. K., Lee, S. Y., Lee, W. J., Hee, Y. Y., Abedin, N. H. Z., Abas, F., & Chong, G. H. (2021). Supercritical carbon dioxide extraction of pomegranate peel-seed mixture: Yield and modelling. *Journal of Food Engineering*, 301, 110550. <https://doi.org/10.3390/foods11121806>
- Tiencheu, B., Claudia Egbe, A., Achidi, A. U., Ngongang, E. F. T., Tenyang, N., Tonfack Djikeng, F., & Tatsinkou Fossi, B. (2021). Effect of oven and sun drying on the chemical properties, lipid profile of soursop (*Annona muricata*) seed oil, and the functional properties of the defatted flour. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4156–4168. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2380>
- Unver, A. (2023). Antioxidant properties, oxidative stability, and fatty acid profile of pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) seeds cultivated in Turkey. *BioResources*, 18(2), 3342–3356. <https://doi.org/10.15376/biores.18.2.3342-3356>
- Vardanega, R., Fuentes, F. S., Palma, J., Buguño-Muñoz, W., Cerezal-Mezquita, P., & Ruiz-Domínguez, M. C. (2023). Valorization of granadilla waste (*Passiflora ligularis*, Juss.) by sequential green extraction processes based on pressurized fluids to obtain bioactive compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 194, 105833. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105833>
- Villalobos-Gutiérrez, M. G., Schweiggert, R. M., Carle, R., & Esquivel, P. (2012). Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. *Cyta-Journal of Food*, 10(1), 78–83. <https://doi.org/10.1080/19476337.2011.580063>
- Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science*, 8(1), 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.02.002>
- Wani, A. A., Sogi, D. S., Singh, P., Wani, I. A., & Shivhare, U. S. (2011). Characterisation and functional properties of watermelon (*Citrullus lanatus*) seed proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 113–121. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4160>
- Wójcik, M., Bieńczyk, A., Woźniak, P., & Różyło, R. (2023). Impact of watermelon seed flour on the physical, chemical, and sensory properties of low-carbohydrate, high-protein bread. *Processes*, 11(12), 3282. <https://doi.org/10.3390/pr11123282>
- Xu, B., Wei, B., Ren, X., Liu, Y., Jiang, H., Zhou, C., Ma, H., Chalamiah, M., Liang, Q., & Wang, Z. (2018). Dielectric pretreatment of rapeseed 1: influence on the drying characteristics of the seeds and physicochemical properties of cold-pressed oil. *Food Bioprocess Technol*, 11, 1236–1247. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2091-8>
- Yamamoto, T., Sato, A., Takai, Y., Yoshimori, A., Umehara, M., Ogino, Y., ... & Tanuma, S. I. (2019). Effect of piceatannol-rich passion fruit

- seed extract on human glyoxalase I-mediated cancer cell growth. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 20, 100684. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2019.100684>
- Yepes, A., Ochoa-Bautista, D., Murillo-Arango, W., Quintero-Saumeth, J., Bravo, K., & Osorio, E. (2021). Purple passion fruit seeds (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) as a promising source of skin anti-aging agents: Enzymatic, antioxidant and multi-level computational studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(1), 102905. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.011>
- Younis, I. Y., Ibrahim, R. M., El-Halawany, A. M., Hegazy, M. E. F., Efferth, T., & Mohsen, E. (2023). Chemometric discrimination of *Hylocereus undulatus* from different geographical origins via their metabolic profiling and antidiabetic activity. *Food Chemistry*, 404, 134650. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134650>
- Zhang, W., Pan, Y. G., Huang, W., Chen, H., & Yang, H. (2019). Optimized ultrasonic-assisted extraction of papaya seed oil from Hainan/Eksotika variety. *Food Science & Nutrition*, 7(8), 2692-2701. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1125>
- Zhang, X., Liang, J., Lin, X., Chen, J., & Luo, X. (2024). A comprehensive review on the composition, processing methods, and sustainable utilization of tropical fruit seeds in food industry. *Food Frontiers*. 1-26. <https://doi.org/10.1002/fft2.493>
- Zia, S., Khan, M. R., Mousavi Khaneghah, A., & Aadil, R. M. (2023). Characterization, bioactive compounds, and antioxidant profiling of edible and waste parts of different watermelon (*Citrullus lanatus*) cultivars. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04820-7>