Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Propiedades y aplicaciones de subproductos de naranja (*Citrus sinensis* L.): Una revisión

Properties and applications of orange by-products (*Citrus sinensis* L.): A review

Rosas-Ulloa, P.[1]*, Ulloa, J.A.[1], López-Mártir, K.U.[2], Flores-Jiménez, N.T.[1], Reséndiz-Vázquez, J.A.[3], Rodríguez-Rivera, Á.E.[2]*

[1] Centro de Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Tepic 63155, Nayarit, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4830-8755*, https://orcid.org/0000-0002-3749-3086, https://orcid.org/0000-0002-1230-498X.

[2] Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera Tepic-Compostela, Xalisco 63780, Nayarit, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1898-2538, https://orcid.org/0009-0008-3077-7570*.

[3] Escuela de Ingeniería y Ciencias, Centro de Bioingenierías, Tecnológico de Monterrey, Epigmenio González 500, San Pablo 76130, Querétaro, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2329-9362.

petrosas@uan.edu.mx*; arulloa@uan.edu.mx; kevin.martir@uan.edu.mx; nta_018@uan.edu.mx; resendizqfb@live.com.mx; efrain.rivera@uan.edu.mx*

Innovación tecnológica: Una revisión sobre la aplicación de subproductos de la naranja en la industria de los alimentos.

Área de aplicación: Química de alimentos.

Recibido: 18 agosto 2025
Aceptado: 09 abril 2026

Abstract

One of the most in-demand fruits is the sweet orange (*Citrus sinensis* L.), whose global production in 2022 reached 76.41 million tons. Orange processing generates approximately 40-50% waste, which is generally untreated and consequently causes negative environmental impacts, such as the proliferation of pests, environmental degradation, and economic losses for the food industry. One solution to this problem is the valorization of byproducts derived from orange processing. These byproducts contain valuable compounds such as essential oils, antioxidants, proteins, and fiber, which have diverse applications in the food industry for both human and animal consumption. Furthermore, they are used in the pharmaceutical and cosmetic industries to promote human health. They have also been implemented as bioremediation agents to counteract anthropogenic pollution, among other uses. For this review, a search of the scientific literature was conducted in databases such as Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar, considering publications from

2010 to 2026, selected based on their relevance and methodological rigor. This review aims to present the current landscape of technological applications for the valorization of orange agro-industrial waste. The results show that orange byproducts, particularly peels, seeds, and pomace, have a high potential for obtaining bioactive compounds, functional ingredients, biofuels, and biodegradable materials, highlighting their application in food, health, and bioremediation as sustainable, high-value-added alternatives.

Keywords: orange by-products, food applications, technological applications, pharmaceutical applications, bioremediation.

Resumen

Una de las frutas con mayor demanda es la naranja dulce (*Citrus sinensis* L.), cuya producción a nivel mundial en el 2022 fue de 76.41 millones de toneladas. Del procesamiento de la naranja se generan aproximadamente entre 40-50% de residuos, los cuales generalmente no son tratados y como consecuencia, provocan impactos negativos en el medio ambiente, tales como generación de fauna nociva, cambios ambientales y pérdidas económicas a las industrias alimentarias. Una solución a esta problemática es la generación de subproductos derivados del procesamiento de la naranja. Dichos subproductos presentan nutrientes como aceites esenciales, antioxidantes, proteínas y fibra con diversas aplicaciones en la industria alimenticia tanto para consumo humano y animal. Además, en la industria farmacéutica y cosmetológica son empleados en la mejora de la salud. También se han implementado como biorremediadores para contrarrestar las actividades antropogénicas, etc. Para la elaboración de esta revisión se realizó una búsqueda de literatura científica en bases de datos como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, considerando publicaciones entre 2010 y 2026, seleccionadas con base en su relevancia y rigor metodológico. Esta revisión tiene como objetivo presentar el panorama actual de la aplicación de soluciones tecnológicas a la revalorización de los residuos agroindustriales de naranja. Los resultados evidencian que los subproductos de naranja, particularmente cáscaras, semillas y bagazo, poseen alto potencial para la obtención de compuestos bioactivos, ingredientes funcionales, biocombustibles y materiales biodegradables, destacando su aplicación en alimentos, salud y biorremediación como alternativas sostenibles de alto valor agregado.

Palabras clave: Subproductos de Naranja, Aplicaciones en alimentos, Aplicaciones tecnológicas, Aplicaciones farmacéuticas, Biorremediación.

1. Introducción

La naranja dulce (*Citrus sinensis* L.) pertenece al género *Citrus* de la familia de las rutáceas (*Rutaceae*) y es una de las frutas más consumidas en el mundo (FAO, 2021). En 2022 la producción mundial de naranjas fue de aproximadamente 76.41 millones de toneladas (t) según datos del sitio web Statista. Sin embargo, esto ha provocado que a nivel global se generen anualmente alrededor de un millón de t de subproductos de cítricos, entre ellos la cáscara, segmentos de membrana (como flavedo, albedos o bagazo) y semillas (Caballero et al., 2022) (Figura 1). La naranja dulce es una de las frutas cítricas más populares, no sólo por su

sabor fragante sino también por ser fuente de varios compuestos fitoquímicos que promueven la salud, como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos (principalmente los flavonoides), ácido fólico, potasio, heteropolisacáridos como pectina cítrica y fibra, además de la obtención de harinas de cáscara, harinas de segmentos de membranas y harinas de semillas (Aschoff et al., 2015; Selva et al., 2022). Cabe destacar que tanto el fruto de naranja como sus subproductos son sustancias generalmente reconocidas como seguras para su consumo de acuerdo con la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA). Entre los principales países productores de naranja en el mundo se encuentran Brasil, China, India, Estados Unidos de América y México, el cual ocupa el quinto lugar en el ranking de producción (USDA, 2024). El principal consumo de la naranja se da como fruta fresca, jugo, ensaladas, entre otros (Ren et al., 2018). Aunque se estima que, del total de la producción de las frutas cítricas en el mundo, entre el 50% y el 80% se utilizan en la industria de procesamiento de jugos (McKay et al., 2021; Zema et al., 2018). La industria mundial de producción de jugo concentrado de naranja (68°Brix), que a nivel global es el producto más consumido, alcanzó una producción total de 47.4 millones de t para el año 2023-2024 (Statista, 2026).

Los subproductos de naranja derivados del procesamiento pueden recuperarse y utilizarse como ingredientes funcionales en los alimentos de consumo humano o animal (Caballero et al., 2022), debido a la presencia de cantidades importantes de proteínas, lípidos, compuestos bioactivos y fibras dietéticas (Rubio-Varela et al., 2023; Torres-León, 2018). Las cáscaras y membranas de segmentos son uno de los principales constituyentes de dichos subproductos al representar del 40 al 60 % de los mismos (Mahato et al., 2018), mientras que la semillas representar hasta el 10% del peso total de estos (Figura 1). La sobreproducción de jugos de cítricos ha generado graves problemas económicos y ambientales (Calabró et al., 2016). Sin embargo, los problemas generados por la gran cantidad de subproductos generados del procesamiento de cítricos se han podido reducir considerablemente al transformarlos en productos de valor agregado, siendo actualmente el aceite esencial de cítricos, especialmente el de naranja, el más importante (Zema et al., 2018). Este aceite esencial se encuentra principalmente en la cáscara de los cítricos y membrana de segmentos, mismo que se puede obtener mediante diferentes métodos de extracción (Ruiz y Flotats, 2014). Otro subproducto de interés son las semillas de naranja, las cuales en los últimos años se han comenzado a comercializar en forma de harina desengrasada, la cual puede aportar del 17.9% al 26.5% de proteína (Rosas-Ulloa et al., 2023), generando una gran oportunidad para su recuperación y uso en la producción de aislados proteínicos de origen vegetal (Mazloomi et al., 2020). Por lo tanto, este artículo de revisión tiene como objetivo presentar el panorama actual de la aplicación de soluciones tecnológicas a la revalorización de los principales residuos agroindustriales del procesamiento de naranja (*Citrus sinensis* L.).

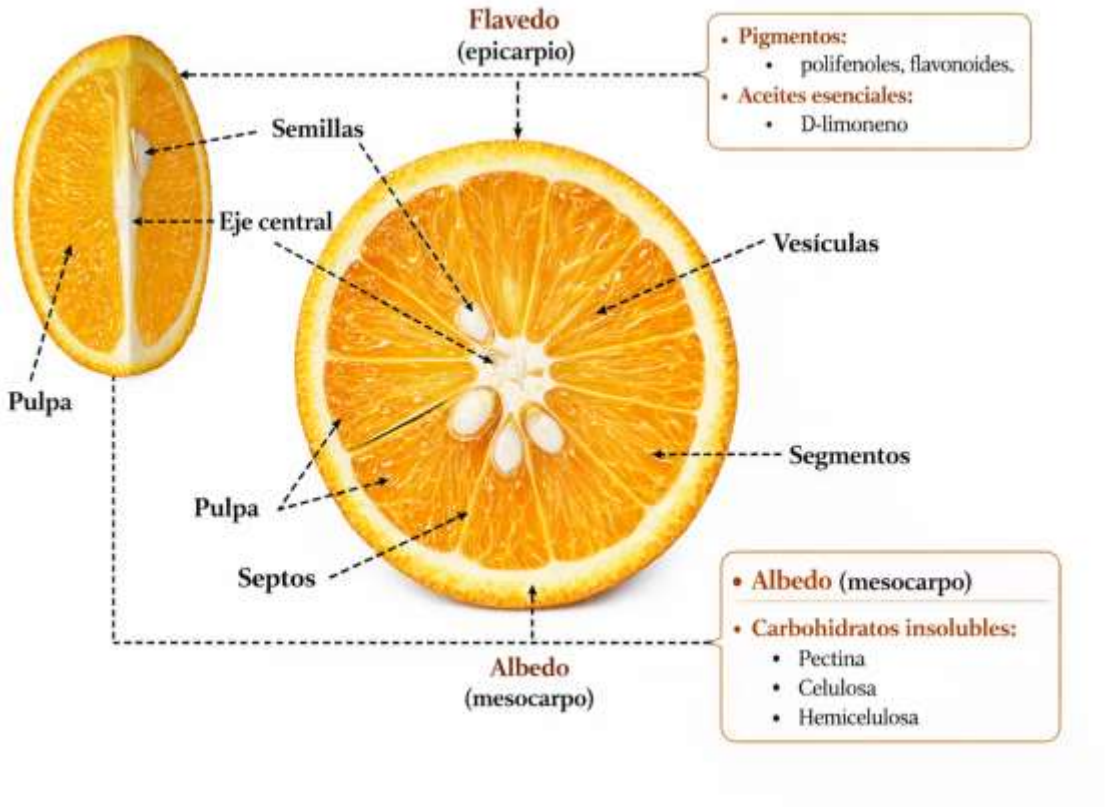


Figura 1. El fruto de naranja (*Citrus sinensis* L.) y sus partes principales.

2. Materiales y métodos

Para la elaboración del presente artículo de revisión se realizó una búsqueda de información en bases de datos científicas reconocidas, tales como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Scielo, Google Scholar, etc. Para esto, se emplearon palabras clave en inglés y español relacionadas con *Citrus sinensis* L., subproductos agroindustriales, naranja, valorización, compuestos bioactivos, propiedades tecno-funcionales y aplicaciones tecnológicas de residuos de la industria de los alimentos. La selección de documentos se centró en manuscritos de revisión, investigaciones originales, capítulos de libros, tesis doctorales y reportes técnicos publicados entre los años 2010 y 2026. Asimismo, se establecieron criterios de inclusión basados en la relevancia temática, rigor metodológico y actualidad de los datos presentados. La información recopilada fue organizada de manera temática y analizada de forma crítica con el fin de integrar los principales avances científicos y tecnológicos relacionados con el aprovechamiento de los subproductos de *Citrus sinensis* L. en diversas industrias. La estructura del trabajo responde a las líneas de aplicación identificadas, con énfasis en su potencial funcional y valor agregado.

3. Resultados y discusión

3.1 Subproductos agroindustriales

Los subproductos agroindustriales de origen vegetal son vistos como un problema desde el inicio de los procesos industriales, debido al costo que implica el manejo y desecho de los mismos al final de la línea de producción. Sin embargo, en las últimas décadas su recuperación y aplicación como materia prima los volvió atractivos debido a su composición rica en moléculas de interés, generación de empleos y novedosas

aplicaciones tecnológicas (Medina-Morales et al., 2022; Rodríguez-Rivera et al., 2025; Okino-Delgado y Fleuri, 2016) como fuente de enzimas activas, aceites esenciales, pectinas, ácidos orgánicos, minerales, vitamina C, azúcares, fibra, compuestos bioactivos y proteínas funcionales una para la mejora de productos alimenticios (Rodríguez-Rivera et al., 2018). En general los residuos generados en la industria de cítricos exhiben beneficios económicos potenciales al retornar a la línea de procesamiento de alimentos dichos subproductos como un aditivo alimentario y al mismo tiempo brindan soluciones sostenibles, innovadoras y de mejora en el diseño y desarrollo de alimentos (Wedamulla et al., 2022) (Figura 2).

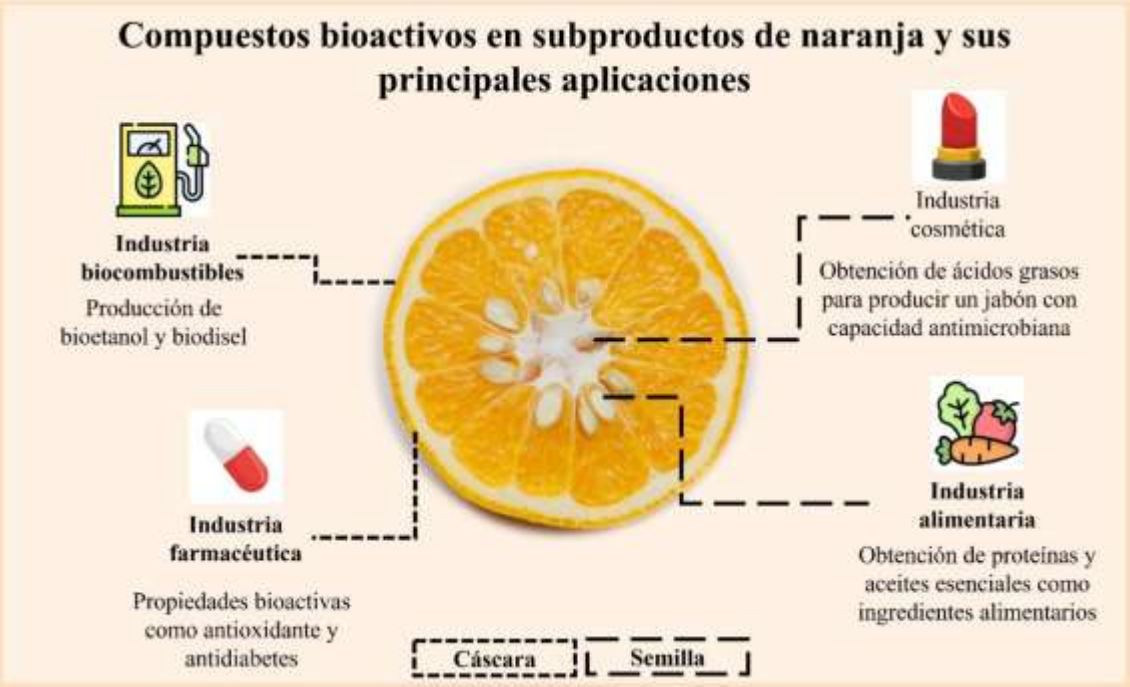


Figura 2. Principales aplicaciones de los subproductos de la naranja (*Citrus sinensis* L.).

3.2 Generalidades de componentes y posibles métodos de extracción de los subproductos de naranja

3.2.1 Cáscaras de naranja

Las cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* L.) representan de un 45 a 60 % del peso total del fruto y son una valiosa fuente de diversos compuestos bioactivos (Wedamulla et al., 2022), incluidos aceites esenciales, polifenoles, pectinas, proteínas, pigmentos, fibras dietéticas, calcio, magnesio, zinc, ácido ascórbico, carotenoides y enzimas (Vama y Cherekar, 2020) habiéndose realizado diversas investigaciones sobre este subproducto (Tabla 1), los cuales exhiben diversas actividades biológicas como antioxidantes, antimicrobianas, anticancerígenas, antiinflamatorias y antidiabéticas (Zhao et al., 2023).

Por otro lado, las cáscaras de naranja deshidratadas se han empleado como sustrato en biorrefinerías para evaluar la eficiencia y optimización en la obtención de aceite esencial y biogás, los cuales son productos rentables y seguros para su consumo a través del manejo de este subproducto, bajo un modelo que involucra tres aspectos: proceso experimental, simulación y optimización de herramientas (Ortiz-Sanchez et al., 2021a).

Además, Ayala et al. (2021) y Utekar et al. (2021) demostraron que a partir de la cáscara y membranas segmentantes de naranja se puede obtener bioetanol, hidrolizando los carbohidratos y fibras con ácido sulfúrico como pretratamiento y posteriormente fermentando los azúcares reductores resultantes (glucosa y fructuosa) por intensificación e hidrolisis enzimática.

En otra investigación realizada por Wijayanti y Sasongko, (2022), desarrollaron diversas combinaciones de aceite de naranja con gasolina de bajo octanaje como aditivo. El cual contiene limoneno, b-mirceno, eugenol y triacetina, similar a la estructura molecular de la gasolina, en la que se ha demostró mejoría significativamente en la viscosidad, densidad y poder calórico de la gasolina utilizada. Así también, se han evaluado diferentes tratamientos con cascarilla de arroz y residuos de cáscara de naranja para producir bioetanol (Taghizadeh-Alisaraei et al., 2022), el cual puede mezclarse hasta un 10% en volumen con gasolina, para aumentar su octanaje y en consecuencia obtener rendimiento del motor y reducción de emisiones gaseosas. Otro proceso utilizado para la generación de subproductos a base de cáscaras de naranja es la carbonización hidrotérmica para la obtención de hidrocarburos con excelentes propiedades eléctricas y electroquímicas los cuales fueron utilizados en sensores químicos como conductímetros de NO_2 y la detección electroquímica de dopamina (Espro et al., 2021).

Por su parte, Pérez-Mora et al. (2020) implementaron columnas de lecho fijo utilizando cáscaras de naranja como material adsorbente para la sorción de selenita en agua contaminada proveniente de ríos y lagos. Este contaminante se asocia principalmente al uso de insecticidas y herbicidas que contienen selenio. El uso de la cáscara de naranja se recomendó como biorremediador económico por su alta capacidad para la sorción de otros metales pesados y oxi-aniones tóxicos.

Así también, la aplicación de aceite esencial extraído de la rayadura de cáscara de naranja *Citrus sinensis* L. sobre superficies de acero inoxidable inhibió eficazmente la corrosión en metales, principalmente para soluciones derramadas con ácido clorhídrico en comparación con las de ácido sulfúrico (Loto et al., 2021). Un uso tradicional de las cáscaras de naranja ha sido la elaboración de compostaje. De igual manera, en el trabajo presentado por Isibika et al. (2021) emplearon larvas de mosca soldado negra para la biodegradación de residuos orgánicos como cáscaras de frutas. Los resultados mostraron que su eficiencia fue mayor al utilizar mezclas de cáscaras de naranja, plátano y residuos de pescado, estos últimos ricos en proteínas, por lo que la conversión de biomasa resultó más efectiva para combinación con residuos de pescado y en menor proporción con las cáscaras de frutas.

Tabla 1. Principales subproductos obtenidos del procesamiento de frutos de naranja.

Residuos agroindustriales	Subproductos	Aplicaciones	Referencia
Cáscara		Bioetanol, hidrolizando los carbohidratos y fibras	Ayala et al. (2021)
		Columnas de lecho fijo para la sorción de selenita en agua contaminada	Pérez-Mora et al. (2020)
		Capacidad de sorción de los derrames de petróleo oleófilo	El Gheriany et al. (2020)
	Aceite	Extracción biodiesel	Alex et al. (2022)
	Aceite	Inhibición de la corrosión en superficie metálicas	Loto et al. (2021)
	Carbón activado	Adsorción de colorantes en aguas residuales	Fernández et al. (2014)
	Celulosa	Elaboración de empaques biodegradables de alimentos	Yaradoddi et al. (2022)
	Hidrocarbono	Sensores conductímetros de NO_2, para la evaluación de contaminantes ambientales	Espro et al. (2021)
	Composta	Biodegradación	Isibika et al. (2021)
Semillas	Harina	Absorción y eliminación de colorantes como azul de metileno y violeta cristal de aguas residuales	Foroutan et al. (2023)
	Sustrato	Biorrefinerías: evaluar la eficiencia y optimización en la obtención de aceite esencial y biogás	Ortiz-Sanchez et al. (2021c)
	Aceite	Producción de biodisel	Almasi et al. (2023)
		Sustituto de aceite de petróleo	Agu et al. (2024)

3.2.2 Membranas de segmentos

El bagazo fresco de naranja (compuesto principalmente por flavedo y albedos (cáscara)), por su alto contenido de agua es un residuo potencialmente contaminante del medio ambiente; pero si este es aprovechado, ofrece la oportunidad para la elaboración de alimentos formulados que actúan como suplementos alimenticios para rumiantes, en especial para los bovinos, debido a que la recuperación de moléculas como pectina, celulosa, proteína, carotenoides, vitaminas, calcio y aceites esenciales forman parte de los ingredientes principales del subproducto obtenido (Bermúdez-Loaiza et al., 2015; Afifi et al., 2023). Sin embargo, para que este sea totalmente digestible (> 78%) en los rumiantes, el bagazo debe estar totalmente seco una para reducir así la producción de ácido propiónico y láctico durante su ingesta, y con ello sustituir parcialmente de esta manera la inclusión del cereal en las dietas (Fernández-Mayer, 2021). Con el uso de ensilados a partir de membrana de segmentos de naranja, se incrementó la generación de metano, el cual puede ser empleado como combustible en las industrias procesadoras de alimentos y otros (dos Santos, 2022).

Así también, se ha reportado que compuestos bioactivos como flavonoides, terpenoides, antifúngicos, antimicrobianos, bioetanol y minerales pueden ser recuperados de estos segmentos (Bonesi et al., 2018; Russo et al., 2021; Nieto et al., 2021). Otros tratamientos como la aplicación del ultrasonido, mejoró las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética soluble de las membranas segmentos

de la naranja, con un incremento en el contenido de algunos monosacáridos como ramnosa, arabinosa, galactosa y ácido galacturónico, con un peso molecular de 189 kDa (Fan et al., 2022), lo cual puede facilitar e incrementar la digestibilidad de este subproducto o para su uso como aditivo a granel. En este orden de ideas, las membranas de segmentos y cáscaras de naranja ofrecen la posibilidad de desarrollar bio-fertilizantes y bio-estimulantes, los cuales pueden contener componentes bióticos que ofrecen efectos positivos a la misma producción de naranja dulce, tales como mejora del estado nutricional de la planta, incremento en el contenido de clorofila y producción de frutos (Consoli et al., 2023).

Algunos estudios han sido enfocados en la degradación térmica de las membranas de segmentos debido a su alto contenido de material volátil (70.33%; p/p), baja humedad (6.15%; p/p) y contenido de carbono fijo (20.86%; p/p), indicando un alto potencial para la producción de aceite por método de pirólisis y su posible uso posterior como biocombustible (Neelanjan-Bhattacharjee and Baran-Biswas, 2020). Otras investigaciones han desarrollado estudios mediante extracción ácida la recuperación de fósforo a partir de lodos obtenidos de cenizas de membranas de segmentos de la naranja incineradas. Alves-Pinto et al. (2023) evaluó el pretratamiento de membranas de segmentos de naranja sobre la dinámica de fluidos en lechos con agitación mecánica, entendida como el comportamiento del movimiento, interacción y circulación de partículas sólidas en contacto con una corriente de aire dentro del sistema. Este tipo de sistemas, conocidos como lechos tipo spouted bed, permiten un contacto eficiente entre fases sólida y gaseosa, favoreciendo procesos de transferencia de calor y masa. En este contexto, el pretratamiento del residuo, mediante la reducción del contenido de humedad y densidad, mejoró significativamente la movilidad de las partículas, evitando su aglomeración y facilitando una circulación más estable dentro del lecho. Además, el uso de agitación mecánica permitió disminuir la velocidad mínima de operación y el consumo de aire, mejorando la eficiencia energética del proceso. Desde el punto de vista práctico, estos sistemas tienen aplicaciones en el secado, pirólisis, gasificación y valorización de biomasa, incluyendo residuos agroindustriales como los de naranja, lo que permite su transformación en productos de valor agregado como biocombustibles, ingredientes funcionales o materiales bioactivos.

Por otro lado, Pascacio-Villafán et al. (2023) evaluaron el efecto de una dieta larvaria basada exclusivamente en membranas de segmentos de naranja en moscas frugívoras. Los resultados de esta investigación indicaron que esta alimentación modificó diversas características morfológicas, químicas, nutricionales y de comportamiento sexual en comparación con individuos alimentados con dietas convencionales. En particular, se observó una disminución en el peso corporal y en el contenido nutricional de los organismos, lo que sugiere un efecto negativo en su desarrollo biológico. Sin embargo, también se registró una mayor diversidad en los compuestos volátiles asociados al comportamiento sexual, así como la conservación de su competitividad reproductiva, aunque con una duración de cópula menor. Estos hallazgos indican que, si bien la dieta basada en subproductos de naranja genera organismos viables, no necesariamente mejora todas las características biológicas, sino que induce adaptaciones fisiológicas y conductuales que pueden ser relevantes en estudios de control biológico y aprovechamiento de residuos agroindustriales.

3.2.3 Semillas

Las semillas de naranja representan alrededor del 10% en peso del total de los subproductos generados después de la obtención del jugo de naranja. Uno de los subproductos obtenidos de dichas semillas es la harina. La composición química promedio de la harina de semillas de naranja sin desgrasar ha sido reportada como sigue: 54.2% de grasa, 28.5% de carbohidratos, 5.5% de fibra cruda, 3.1% de proteína, 2.5% de cenizas, en base seca, observando altos niveles de calcio y potasio, considerando en gran medida el estado de madurez, lugar de cosecha y temporada (Rosas-Ulloa et al., 2023). Por otra parte, la harina de semillas de naranja desgrasada, como subproducto de la industria de jugos contiene aproximadamente entre un 17.9% a 26.5% de proteína, la cual puede ser utilizada como una fuente rentable para la producción de ingredientes proteínicos (Mazloomi et al., 2020; Özcan y İnan, 2022). Así también, estas proteínas contienen aminoácidos, ácidos grasos, enzimas, flavonoides, ácidos fenólicos, aceites esenciales, tocoferoles (Zayed et al., 2021) y compuestos antioxidantes, los cuales son extraídos cuando se han reducido componentes antinutricionales y pueden ser empleados para la elaboración de otros productos alimenticios fortificados o en aplicaciones bioquímicas y de salud (Mustafa et al., 2023; Dongre et al., 2023; Mazurakova et al., 2024).

Por otro lado, algunos estudios se han enfocado en desarrollar aislados proteínicos mejorados a partir de harina de semillas de naranja tratadas con baño ultrasónico (42 kHz; 130 W; por 15 y 30 min), presentando un contenido proteico de 86.40 a 90.06 %, el cual puede ser empleado como ingrediente alimentario para el desarrollo de productos de consumo humano, sopas, aderezos, cremas, mayonesa y productos horneados (Rosas-Ulloa et al., 2023). Por otra parte, la extracción de aceite de semillas de naranja por medio de extracción de prensado en frio, esterificación y transesterificación, tiene la capacidad de generar energía al ser empleado para la producción de biodiesel (Almasi et al., 2023). Además, el aceite extraído de semillas de naranja puede ser empleado como sustituto adecuado de aceite de petróleo en la industria petroquímica (Agu et al., 2024; Ezekoye et al., 2019).

3.3 Empleo de los subproductos de la naranja en alimentos

Se han desarrollado diversas aplicaciones de los subproductos de la naranja en la industria de los alimentos (Tabla 2), por ejemplo, se utiliza la cáscara en la elaboración de productos para el consumo humano y animal, donde se pueden emplear como fibra dietética, uso como pectina y antioxidantes, así también como fuente de pigmentos, saborizantes, espesante en mermeladas, aderezos, bebidas y recubrimientos de polímeros biodegradables (Tahir et al., 2023; Vama y Cherekar, 2020). Asimismo, dentro de las aplicaciones en la industria alimentaria, los subproductos de la cáscara de naranja han mostrado potencial en el desarrollo de materiales biodegradables. La presencia de celulosa y su biodisponibilidad permiten su aprovechamiento en la elaboración de empaques para alimentos, debido a sus propiedades de resistencia mecánica, flexibilidad y capacidad de desintegración en condiciones ambientales adversas. Desde el punto de vista estructural, estos materiales presentan una morfología similar a películas rugosas, lo que influye en sus propiedades funcionales, como la permeabilidad y estabilidad, aspectos relevantes para su uso como alternativa sostenible a los empaques convencionales (Yaradoddi et al., 2022).

Por otro lado, en la investigación realizada por Deba-Rementeria et al., (2023), se elaboraron productos tipo snack a partir de cáscaras de naranja fermentada con NaCl a

diferentes concentraciones (2.0 y 5.0 %), con la finalidad de evaluar la aceptabilidad y amargor del producto destinado a la gastronomía en restaurantes y hoteles de España. En esta investigación se desarrollaron procesos de fermentación de la cáscara con un proceso mixto usando cepas de *Aspergillus niger* y *Trichoderma reesei* para la liberación de la fibra dietética, la cual es la portadora de abundantes polifenoles unidos, los cuales poseen capacidad antioxidante y pueden ser aplicados a alimentos funcionales (Xue et al., 2022; Gómez-Urios et al., 2023). Del mismo modo, la investigación realizada por Sepúlveda et al. (2020) utilizaron una metodología de fermentación para las cáscaras de naranja con la finalidad de obtener de ácido elágico y emplearse como antioxidantes y antibacterianos.

En general, los aceites extraídos de las semillas de naranja presentan actividad antioxidante por la presencia de carotenoides, compuestos fenólicos, tocoferoles y fitoesteroles, los cuales pueden ser incluidos en la dieta humana o animal como aceites especiales (Jorge et al., 2016).

A partir del uso potencial de residuos industriales de cáscara de naranja en una biorrefinería, se obtuvieron productos como aceite esencial, el cual tiene propiedades tecnofuncionales en la industria alimentaria (Ortiz-Sanchez et al., 2021). Otros métodos como la aplicación de ultrasonido continuo y pulsado a una biomasa de cáscaras de naranja mostraron un incremento del 11.0% en la extracción de pectina a pH de 2 y 3 (Patience et al., 2021). En este contexto, la aplicación de ultrasonido e hidrólisis enzimática a cáscaras de naranja presentó mayor producción de azúcares reductores, además deslignificación mediante la asistencia del ultrasonido (Utekar, 2021). Así también, mediante una hidrólisis ácida se obtuvieron azúcares reductores como la glucosa y fructuosa para su uso como aditivo alimentario, los cuales también al ser fermentados pueden ser utilizados para obtener bioetanol (Ayala et al., 2021).

La generación de un snack expandido (extrusionado) a partir de residuos agroindustriales de maíz azul y fibra dietética proveniente de membranas de segmentos de naranja ha sido ampliamente estudiada como una alternativa para el desarrollo de alimentos funcionales. En este contexto, Navarro-Cortez et al. (2023) evaluaron el efecto de variables como la temperatura de extrusión, contenido de humedad y concentración de bagazo de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto. Los resultados mostraron que la incorporación de bagazo de naranja en proporciones cercanas a 100 g/kg permitió obtener productos con un adecuado índice de expansión, textura y aceptabilidad, además de un incremento en el contenido de fibra dietética.

Desde el punto de vista tecno-funcional, la adición de este subproducto contribuye a mejorar el perfil nutricional de los snacks extrusionados extrudidos, los cuales tradicionalmente presentan bajo contenido de fibra. Sin embargo, concentraciones elevadas de bagazo pueden afectar negativamente la expansión del producto y aumentar su dureza, lo que limita su aceptabilidad sensorial.

En términos de aplicación industrial, este tipo de formulaciones representa una estrategia viable para la valorización de residuos agroindustriales, permitiendo el desarrollo de alimentos listos para el consumo con valor agregado, alineados con tendencias actuales de sostenibilidad y alimentación saludable. Además, el uso de tecnología de extrusión facilita la producción a gran escala, con control de textura, densidad y propiedades funcionales del producto final.

De la misma manera, Mantovan et al. (2022) obtuvieron pectina y celulosa mediante la modificación de membranas de segmentos de naranja a través de extrusión reactiva, proceso que demostró ser eficiente y sostenible para la valorización de residuos lignocelulósicos. Estos compuestos tienen múltiples aplicaciones en la industria de los alimentos, ya que la celulosa puede emplearse como fibra dietética, agente texturizante y estabilizante en productos procesados, mientras que la pectina es ampliamente utilizada como gelificante, espesante y agente encapsulante en mermeladas, bebidas y productos lácteos. Asimismo, ambos biopolímeros pueden ser utilizados en el desarrollo de recubrimientos comestibles, empaques biodegradables y como sustratos en procesos de fermentación, lo que amplía su aplicación en la producción de alimentos funcionales y en tecnologías sostenibles dentro de la industria alimentaria.

Otra aplicación es la obtención de flavonoides a partir de biomasa de membranas de segmentos, empleando tecnologías de extracción modernas mediante campos eléctricos pulsados y alta presión, para ser implementados en la industria de alimentos principalmente como colorantes y en alimentos nutracéuticos (Afifi et al., 2023). Igualmente, la harina de membranas de segmentos (albedo) de la naranja se empleó como sustituto de grasa en la elaboración de mortadela de pollo, donde las distintas formulaciones mostraron buena estabilidad oxidativa, disminuyendo así los ácidos grasos poliinsaturados y los contenidos de omega-6. La harina de albedo de naranja resultó viable como sustituto de grasa en la formulación de la mortadela de pollo sin comprometer su calidad (Zanon et al., 2022).

En general, mediante el empleo de desechos de frutas y membranas de segmentos de la naranja (naranja dulce y ácida) se obtuvieron proteínas unicelulares, las cuales se pueden usar como suplemento proteico en alimentos para humanos o animales (Thiviya et al., 2022). En repostería, el uso de la harina de membranas de segmentos de naranja en la elaboración de pastel mejoró la aceptabilidad y valor nutricional de dicho producto cuando fue añadido a un 10.0% de sustitución en harina de trigo refinada (Yousof et al., 2022). En el caso de las semillas de naranja existen distintos reportes sobre su uso en diversas formulaciones de alimentos como la panificación, productos lácteos, cereales y cárnicos (Roy et al., 2023). En productos de panificación se investigó que la sustitución de hasta 10% de harina de semillas de naranja desengrasada con harina de trigo (90%) no presentó cambios en la elasticidad, volumen del pan y análisis sensorial, mejorando la calidad de este con respecto a su capacidad antioxidante y propiedades nutricionales (Isah et al., 2023). Investigaciones similares evaluaron la incorporación de harina de semillas de naranja a un 10% a la harina de trigo, mejorando los perfiles de vitaminas y minerales, al incrementar los valores de hierro, zinc, selenio, manganeso, calcio y las vitaminas A, D, E, K, B ligeramente (Hussain et al., 2023), lo cual lo hace atractivo para estudios posteriores y su inclusión en diferentes formulaciones clasificadas como alimentos fortificados (Özcan et al., 2023).

En otras aplicaciones, la sustitución con paja de trigo y ensilado de subproductos de naranja (cáscara, membrana de segmentos, semillas y mezcla de ambos), como alternativa para elaboración de piensos y sostenibilidad de producción de animales como las cabras Barki, mejoró la producción de leche, fermentación ruminal y lactancia temprana (El-Zaiat et al., 2022). La presencia de múltiples agentes antimicrobianos en los subproductos de la naranja (cáscara, membrana de segmentos y semillas) es una forma innovadora de reciclaje, por contener metabolitos secundarios como compuestos complejos (fitoquímicos), los cuales tienen

actividad contra bacterias gram-positivas (*S. aureus, B. subtilis*) y gramnegativas (*E. coli y S. typhi*) (Haroen et al., 2018). Se ha evaluado la ingesta de harina de semillas de naranja a ciertas concentraciones dietéticas, con respecto al desarrollo morfológico e histológico del intestino delgado en pollos de engorda mostrando resultados positivos en un mejor desarrollo y salud intestinal del animal (Parobali et al., 2023). Abbasi et al. (2015) provaron 5 tratamientos con residuos de cáscara y bagazo de naranja (control, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 % más complementos nutricionales), para incrementar la masa corporal y reducción de grasa hepática, abdominal y disminución de los triglicéridos séricos en pollos de engorda, para asar, resultando el mejor tratamiento el de la inclusión del 2.0% de bagazo de naranja al alimento de los animales. El alto contenido de extractos grasos que contienen las semillas los hace una fuente potencial para su uso tanto en la industria alimentaria y no alimentaria. Caso contrario, en la investigación realizada por Afolab et al. (2023), se elaboraron 5 dietas iniciales con cáscara de naranja biodegradada como fibra dietética en sustitución de la harina de maíz, observándose que es necesario reducir la concentración de la fibra dietética de cáscara de naranja biodegradada, ya que no favoreció el crecimiento de los pollos de engorde iniciales, por lo que debe de incrementarse el contenido de proteína y carbohidratos simples en la alimentación de las aves, en lugar de la fibra.

Otros estudios sobre el uso de subproductos de naranja, como los realizados por Adubofour et al., (2021), evaluaron los extractos y propiedades físicas de semillas de naranja mediante la determinación de parámetros como tamaño, forma, densidad, ángulo de reposo y coeficientes de fricción estática y dinámica sobre diferentes superficies. Estas pruebas físicas y de fricción permiten caracterizar el comportamiento mecánico de las semillas durante su manipulación. Por ejemplo, el coeficiente de fricción indica la resistencia al deslizamiento sobre materiales como acero, madera o plástico, lo cual es fundamental para el diseño de equipos de transporte y almacenamiento. Asimismo, el ángulo de reposo proporciona información sobre la fluidez del material, influyendo en procesos como el vaciado de tolvas y el envasado. En conjunto, estos parámetros facilitan la optimización de operaciones industriales como el procesamiento, la separación, el envasado y el almacenamiento de las semillas, al permitir diseñar sistemas más eficientes y reducir pérdidas o atascamientos. No obstante, estos estudios se centran principalmente en propiedades físicas, por lo que es necesario complementarlos con análisis químicos y funcionales para una valorización integral de los subproductos.

Además, en la alimentación para ganado, la inoculación con lixiviados de cáscara de naranja producidos durante el ensilado mejora la recuperación de solidos volátiles, pectina y otros componentes de interés como ácido láctico y bioetanol, con respecto a la muestra no inoculada (Fazzino et al., 2021). Con residuos de cáscara de naranja, por ser un subproducto fitobiótico y con compuestos bioactivos, se previene el crecimiento y prevención de *Aeromonas hydrophila* en bagres juveniles *Mystus nemurus* (She-See et al., 2024). Por su parte, el uso de aceites esenciales en los últimos años ha prestado interés a varios investigadores para ser usado como ingrediente alimentario fitoquímico. Estos aceites esenciales provenientes de cáscaras de naranjas son empleados en la piscicultura, como estrategia para obtener respuestas inmunológicas, fisiológicas, actividad antioxidante y expresión genética de los peces, además de elaborarse piensos (Kesbiç et al., 2022).

Como se describió a lo largo de esta sección, los distintos subproductos de la fruta de naranja, como la membrana de segmentos, la cáscara y las semillas, contienen compuestos bioactivos y fitoquímicos, incluidos aceites esenciales, los cuales resultan factibles para el desarrollo de productos horneados, bebidas, cárnicos y lácteos. Adicionalmente, por sus componentes y características funcionales, estos compuestos han sido ampliamente utilizados en la industria alimentaria, aportando beneficios a la salud como efectos cardioprotectores, antialérgicos, antiinflamatorios, antiespasmódicos, antisépticos, antioxidantes y antifúngicos (Maqbool et al., 2023; Nirmal et al., 2023). De manera complementaria, la evidencia analizada en esta sección demuestra que dichos subproductos también poseen un alto potencial en la producción animal, donde su incorporación en dietas y sistemas de alimentación contribuye a mejorar parámetros productivos, la salud intestinal y el aprovechamiento de nutrientes, además de representar una alternativa sostenible para la valorización de residuos agroindustriales. En conjunto, estas aplicaciones evidencian la versatilidad de los subproductos de la naranja tanto en la industria alimentaria como en la producción pecuaria, consolidándolos como ingredientes funcionales de interés creciente.

Tabla 2. Aplicaciones de los subproductos de naranja en la industria de los alimentos.

Fuente	Resumen de los hallazgos	Referencia
Cáscara	Rica en fibra dietética, pectina, compuestos fenólicos y aceites esenciales (limoneno); utilizada en alimentos, obtención de antioxidantes, compuestos antimicrobianos, azúcares fermentables y desarrollo de materiales biodegradables mediante procesos como fermentación, hidrólisis y ultrasonido.	Tahir et al., 2023; Vama y Cherekar, 2020; Yaradoddi et al., 2022; Patience et al., 2021; Ayala et al., 2021
Semillas	Fuente de aceites, pectina, celulosa y flavonoides; empleadas en alimentos como panificación, cárnicos y repostería, mejorando el perfil nutricional (fibra, minerales, antioxidantes) y funcional (estabilizantes, sustitutos de grasa, colorantes).	Jorge et al., 2016; Mantovan et al., 2022; Zanon-Belluco et al., 2022; Isah et al., 2023; Hussain et al., 2023
Subproductos integrales	Aplicados en alimentos funcionales y producción animal; mejoran propiedades fisicoquímicas, digestibilidad, salud intestinal y rendimiento productivo. También presentan actividad antimicrobiana y potencial para bioprocesos (proteínas unicelulares, bioetanol).	Navarro-Cortez et al., 2023; El-Zaiat et al., 2022; Haroen et al., 2018; Thiviya et al., 2022; Fazzino et al., 2021

3.4 Usos de los subproductos de la naranja en el área de salud y cosmetología

Los productos naturales son seguros y saludables para la piel, ya que no contienen ingredientes tóxicos, conservantes ni aromas artificiales. Los ingredientes naturales se asemejan a las grasas de la piel, lo que ayuda a mantener el equilibrio de pH y a que la piel absorba los nutrientes de forma efectiva. Por sus compuestos bioactivos y metabolitos, algunos subproductos de la naranja (Tabla 3) se usan para el tratamiento de ansiedad, cáncer, trastornos gastrointestinales, obesidad, antialérgicos, antidiabéticos, antimicrobianos, neuroprotector, antiviral, antiinflamatorios, como nutraceúticos y en cosmetológica (Santos et al., 2022; Afifi et al., 2023., Maqbool et al., 2023; Rațu et al., 2023).

Feng (2022) y Wang et al. (2023) obtuvieron extractos de fenoles y flavonoides a partir de cáscara de naranja usando extracción por ultrasonido, los cuales pueden servir como ingredientes para productos de alto valor agregado con efectos promotores de la salud.

Además, los aceites esenciales encontrados en cáscaras de naranja mostraron alta actividad antioxidante y antimicrobiana contra *E. coli* (gramnegativa), que pueden ser empleados en productos dietéticos y en suplementos farmacéuticos; estos extractos se obtuvieron por hidrodestilación asistida por ultrasonido (Heydari et al., 2021). Las cáscaras de naranja son utilizadas por sus propiedades para generar apetito y prevenir mareos, como fragancia, saborizante, fuente de ácido ascórbico y por su alta acidez (Zhao et al., 2023).

Salem et al. (2022) utilizaron residuos de cáscara de naranja para inhibir el crecimiento de bacterias grampositivas multirresistentes (*S. aureus* ATCC 29213) y gramnegativas (*Pseudomonas aeruginosa* MDR P. *aeruginosa*, MDR *E. coli* y *K. pneumoniae*) por medio de unas nanopartículas de selenio (Se-NPs), fabricada a partir de cáscaras de naranja utilizando un método verde (biosíntesis), recomendándose emplear las nanopartículas de selenio en el campo médico debido a su alto grado de inhibición de dichas cepas. En este contexto, a partir de la epidemia de COVID-19, se desarrollaron medidas de higiene como el uso frecuente de desinfectantes, particularmente hidrogeles a base de alcohol, los cuales incrementaron su demanda a nivel mundial. Sin embargo, su uso excesivo se ha asociado con efectos adversos en la piel, como irritación y dermatitis. Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar alternativas más seguras y sostenibles. En este sentido, los residuos agroindustriales de naranja, especialmente la cáscara, representan una fuente relevante de compuestos bioactivos como flavonoides (por ejemplo, hesperidina), los cuales poseen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que contribuyen a la protección y regeneración de la piel. Estos compuestos pueden ser incorporados en formulaciones de productos de higiene, como hidrogeles, con el potencial de reducir los efectos irritantes del alcohol, al mismo tiempo que se aprovechan subproductos bajo un enfoque de economía circular (Maqbool et al., 2023; Nirmal et al., 2023).

Por otro lado, la investigación realizada por Dita-Mayangsari et al., (2022) se enfocó en desarrollar cremas para manos multipropósito, la de humectar, como aromaterapia y desinfección. En la primera crema se empleó aceite de eucalipto y la segunda con aceite de naranja dulce (ambos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas). Ambas cremas se desarrollaron con hojas de eucalipto y cáscara de naranja dulce. Mediante pruebas hedónicas los panelistas prefirieron el olor a dulce de la naranja al del eucalipto. En este orden de ideas, el principal antioxidante extraído a partir de la cáscara de naranja (hesperidina) permitió la regeneración del tejido ulcerado en roedores y así también evitó las lesiones hemorrágicas. Aunque ellos reportan algunos resultados favorables, son necesarios más estudios para explorar su posible aplicación terapéutica antiulcerosa (Bigoniya y Singh, 2014). A partir de la combinación de aceites esenciales de cáscara de naranja dulce, comino, pimienta y jamaica se realizaron mezclas con el propósito de sustituir los fármacos tradicionales terapéuticos para mejorar los efectos antinflamatorios e infecciosos en pacientes, observándose que la combinación de cáscara de naranja dulce con comino redujo significativamente la inflamación de un edema a más de un 85% (Padilla-Camberos et al., 2022).

En otra investigación se extrajeron aceites esenciales con capacidad antioxidante a partir de las cáscaras de naranja y el componente principal fue el limoneno, el cual tiene la particularidad de inhibir el crecimiento de *E. coli* gramnegativa y otros microorganismos, lo cual permite su inclusión en distintos suplementos de grado farmacéutico

(Karabiber et al., 2018; Heydari et al., 2021). Por otra parte, proteínas de semillas de naranja fueron hidrolizadas con la enzima catalasa para obtener péptidos bioactivos con actividad antioxidante, inhibitorias de la enzima convertidora de angiotensina e hipoglucemiantes, los cuales no favorecieron significativamente dicha bioactividad inhibitoria después de una digestión gastrointestinal simulada (Seyadeh-Narges et al., 2020). Asimismo, en experimentaciones *in vivo*, se evaluaron los efectos del aceite de semillas de *Citrus sinencis* L. en ratas albinas que fueron inducidas con monohidrato de aloxano y metformina, para evaluar la glucosa, los triglicéridos, colesterol y actividades de todas las enzimas hepáticas en sangre, observándose una reducción significativa de glucosa en la sangre en las primeras semanas de estudio. Sin embargo, los investigadores informaron que era necesario estudiar el ingrediente activo del aceite y aislarlo, para identificar el mecanismo de acción responsable de esta actividad benéfica (Chilaka et al., 2015). Finalmente, las semillas de naranja, debido a su contenido de compuestos fitoquímicos y ácidos grasos como el linoleico y el oleico, han sido aprovechadas para el desarrollo de productos con valor agregado. En este sentido, se ha elaborado un jabón a partir de estos subproductos, el cual presentó actividad antimicrobiana, lo que evidencia su potencial para su industrialización en la industria cosmetológica como producto cosmecéutico (Atolani et al., 2020).

Tabla 3. Aplicaciones de los subproductos de naranja en la industria de la salud.

Fuente	Aplicación	Referencias
Cáscara	Obtención de compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, limoneno); uso antioxidante, antimicrobiano, antiinflamatorio; aplicación en nutracéuticos, cosméticos, hidrogeles y productos farmacéuticos.	Santos et al., 2022; Afifi et al., 2023; Maqbool et al., 2023; Rațu et al., 2023; Feng, 2022; Wang et al., 2023; Heydari et al., 2021; Zhao et al., 2023
Extractos y aceites	Desarrollo de nanopartículas, desinfectantes, cremas, aromaterapia y tratamientos médicos (antibacteriano, regeneración de piel, antiinflamatorio).	Salem et al., 2022; Nirmal et al., 2023; Dita-Mayangsari et al., 2022; Bigoniya y Singh, 2014; Padilla-Camberos et al., 2022; Karabiber et al., 2018
Semillas	Obtención de péptidos bioactivos y aceites con efectos antioxidantes, hipoglucemiantes y antimicrobianos; aplicación en productos farmacéuticos y cosméticos (jabones).	Seyadeh-Narges et al., 2020; Chilaka et al., 2015; Atolani et al., 2020

3.5 Impacto del uso de los subproductos de la naranja en el medio ambiente

Se han implementado pocas vías como alternativas para reducir la eliminación de subproductos (residuos) de frutas a vertederos, los cuales pueden generar costos por manejo, acarreo de fauna nociva (moscas, roedores, insectos, microorganismos, entre otros), formación de lixiviados, producción de gases y cambios adversos en el paisaje. El aprovechamiento de estos subproductos, como se describió anteriormente, pueden ser una gran fuente de ingresos o ahorro económico en las industrias procesadoras de jugos como es el caso de la naranja (Ortiz-Sanchez et al., 2024).

En general, a escala industrial se ha logrado producir carbón activado a partir de cáscaras de naranja y limón mediante un método

modificado de Fernández et al. (2014), empleando ácido fosfórico como agente activante. Este material fue evaluado en la adsorción de colorantes presentes en aguas residuales, específicamente naranja de metilo y azul de metileno, los cuales fueron retenidos de manera satisfactoria en el biosorbente (Ramutshatsha-Makhwedzha et al., 2022).

De forma complementaria, estudios recientes han demostrado que la harina de semillas de naranja, al ser modificada con Fe_3O_4, presenta una alta capacidad para remover colorantes como azul de metileno y violeta cristal en efluentes acuosos (Foroutan et al., 2023). Asimismo, debido al incremento de costos del petróleo crudo y agotamiento de este recurso, se han generado métodos para extraer biodiesel renovable empleando nanopartículas de óxido de cerio mezclado con éster metílico de aceite de cáscara de naranja, para evaluar su rendimiento y características de emisiones finales de la combustión. Sin embargo, los resultados no fueron concluyentes sugiriéndose realizar evaluaciones respecto a los efectos que se generen al medio ambiente (Alex et al., 2022). Por otro lado, Anaya-Gil et al. (2021) evaluaron el efecto del aceite de semillas de naranja modificado, sobre la acción larvicida (*Drosophila melanogaster*-mosca de la fruta) y la preservación del medio ambiente. Dichos investigadores reportaron que la actividad biológica del larvicida dependió de la concentración del limoneno presente en las muestras y que a menor concentración el efecto larvicida fue directamente proporcional observando baja letalidad en las larvas de moscas de la fruta. Otras aplicaciones han hecho uso de métodos hidrotérmicos obteniendo varias muestras de hidrocarbono a partir de las cáscaras de naranja, con la finalidad de emplearlo en sensores conductímetros de NO_2 para la evaluación de contaminantes ambientales (Espro et al., 2021).

4. Conclusión

La revisión de la literatura sobre los subproductos de la naranja (*Citrus sinensis* L.) permitió identificar su amplio potencial en diversas aplicaciones industriales, particularmente en los sectores alimentario, farmacéutico y cosmético, debido a su riqueza en compuestos bioactivos como flavonoides, aceites esenciales y ácidos grasos. No obstante, el presente estudio presenta algunas limitantes, entre las que destacan la variabilidad en los métodos de extracción y caracterización reportados en la literatura, así como la heterogeneidad en los enfoques experimentales, lo que dificulta la comparación directa de resultados. Asimismo, se identificaron vacíos teóricos relacionados con la estandarización de procesos, la evaluación a escala industrial y la falta de estudios longitudinales que validen la estabilidad y eficacia de estos subproductos en aplicaciones reales. En este sentido, futuras investigaciones deberían enfocarse tanto en la optimización de técnicas de aprovechamiento como en el desarrollo de estudios aplicados que permitan consolidar su viabilidad comercial, promoviendo así el aprovechamiento integral de residuos agroindustriales y contribuyendo a modelos de producción más sostenibles.

5. Referencias

1. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. FAO-Stat. (2021). http://www.fao.org/faostat/es/#home
2. Statista. Orange production worldwide from 2012/2013 to 2025/2026. (2026). https://www.statista.com/statistics/577398/world-orange production/?srsltid=AfmBOorgFAX3Sy_pDSNzJwqt6ooySohZDAzHmGv_T39e-yJPOT2Bwzgn
3. Caballero, S., Olive Li, Y., Julian McClements, D., and Davidov-Prado,

G. (2022). Encapsulation and Delivery of bioactive citrus pomace polyphenols: a review, Citrical Reviews in Food Science and Nutrition, 62:29, 8028-8044. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1922873

4. Aschoff, J.K., Kaufmann, S., Kalkan O, Neidhart, S., Carle, R., and Schweiggert, R.M. (2015). *In vitro* bioaccessibility of carotenoids, and vitamin C from differently processed oranges and orange juices [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. *Journal of Agriculture and Food Chemistr*y, 63:578-87. https://doi.org/10.1021/jf505297t
5. Selva-Ganesh, K., Sridhar, A., and Vishali, S. (2022). Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities-A review. *Chemosphere*, *287*(Part 3), e132221. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.20211.12221
6. USDA. (2024). United States Department of Agriculture. https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new
7. Ren, J.N., Zhang, Y., Fan, G., Wang, M.P., Zhang, L.L., Yang, Z.Y., and Pan, S.Y. (2018). Study on the optimization of the decolorization of orange essential oil. *Food Science and Biotechnology*, 27:929-938. https://doi.org/10.1007/s10068-018-0354-9
8. McKay, S., Sawant, P., Fehlberg, J., and Almenar, E. (2021). Antimicrobial activity of orange juice processing waste in powder form and its suitability to produce antimicrobial packaging. *Waste Management*. 120: 230-239. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.048
9. Zema, D., Calabro, P., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G., and Zimbone, S. (2018). Valorization of citrus processing waste: A rewiew. *Waste Management*, 80: 252-273. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.024
10. Rubio-Varela, J.A., Diaz Vargas, M., y Duque Ramírez, C.F. (2023). Digestibilidad de dietas con pulpa cítrica deshidratada para conejos en etapa de engorde. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. Vol.34, No. 1, e22962, 1-9. https://doi.org/10.15381/rivep.v34i1.22962
11. Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, N., Londoño-Hernández, L., Martínez-Medina, G.A., Díaz-Herrera, R., Navarro-Macias, V., Álvarez-Pérez, O.B., Picazo, B., Villarreal-Vázquez, M., Ascacio-Valdes J., and Aguilar, C. N. (2018). Food waste and byproducts: An opportunity to minimize malnutrition and hunger in developing countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2:52. https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00052
12. Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., and Cho, M. H. (2018). Citrus waste derived nutra-/pharmaceuticals for health benefits: Current trends and future perspectives. *Journal of Functional Foods*, *40*, 307-316. https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.015
13. Calabró, P., Pontoni, L., Porqueddu, I., Greco, R., Pirozzi, F., and Malpei, F. (2016). Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results. *Waste Management* 48:440-447. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.032

14. Ruiz, B., and Flotats, X. 2014. Citrus essential oils and their influence on the anaerobic digestion process: An overview. *Waste Management*, 34:2063-2079. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.026
15. Rosas-Ulloa, P., Ulloa, J. A., Ulloa-Rangel, B. E., and López-Mártir, K. U. (2023). Protein isolate from orange (*Citrus sinensis* L.) seeds: Effect of high-intensity ultrasound on its physicochemical and functional properties. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(3), 589-602. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02956-4
16. Mazloomi, S.N., Mahoonak, A.S, Ghorbani, M., and Houshmand, G. (2020). Physicochemical properties of chitosan-coated nanoliposome loaded with orange seed protein hydrolysate. *Journal of Food Engineering*. 280:109976. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109976
17. Medina-Morales, J.U., Sanchez-Herrera, L.M., Vargas-Tah A.A., Castro-Montoya, A.J., Espinosa-Rodríguez, M.A., Hidalgo-Millan, A. and Delgado-Delgado, R. (2022). A kinetic study of saccharification of jackfruit residue (*artocarpus heterophyllus*). chemical and enzymatic pathway. *International Journal of Biological Sciences*, 2(6):2-6. https://doi.org/10.22533/at.ed.813262223091
18. Rodríguez Rivera, A. E., R.Delgado Delgado, M. A.Espinosa Rodríguez, M. S.Córdova Aguilar, and A.Hidalgo Millán. (2025). "Chemical and rheological properties of a dough elaborated with a powder of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* lam.) residue for food applications", *AgriFood: Journal of Agricultural Products for Food,* 1(1):43–50. https://doi.org/10.1002/agf2.70005.
19. Okino-Delgado, C.H., and Fleuri, L.F. (2016). Orange and mango by-products: Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and botanical versus commercial description-A review. *Food Reviews International*. 32:1-14. https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041183
20. Rodríguez-Rivera, A.E., Sánchez-Herrera L.M., Balois-Morales, R., Delgado-Delgado, R., García-Martínez, H.A., and Hidalgo-Millán, A. (2018). Cinéticas de secado y caracterización fisicoquímica de la harina elaborada a partir de residuo de jaca (*Artocarpus heterophyllus* LAM.) en diferentes estados de madurez. *UTCJ Theorema Revista Científica* 7(3):118-125. https://utcjtheorema.wixsite.com/inicio/julio-diciembre-2017
21. Lui, Y., Shi, J., and Langrish, T.A.G. (2006). Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. *Chemical Engineering Journal*, 120(3) 203-209. https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.02.015.
22. Wedamulla, N. E., Fan M. Choi, Y. J., and Kim, E. K. (2022). Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. *Journal of Funtional Foods*. Vol. 95 https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105163
23. Vama, L.A. P. S. I. A., and Cherekar, M. N. (2020). Production, extraction and uses of eco-enzyme using citrus fruit waste: wealth from waste. *Asian Jr. Of Microbiol. Biotech. Env. Sc,* 22(2), 346-351.
24. Zhao, R., Xiao, H., Liu, C., Wang, H., Wu, Y., Ben, A., and Wang, Y. (2023).

Dynamic changes in volatile and non-volatile flavor compounds in lemon flavedo during freeze-drying and hot-air drying. *LWT-Food Science and Tecnology*. Vol. 175. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114510

25. Ortiz-Sanchez, M., Solarte-Toro, J. C., Orrego-Alzate, C. E., Acosta-Medina, C. D., and Cardona-Alzate, C. A. (2021a). Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment. *Biomass conversion and Biorefinery*, *11*, 645-659. https://doi.org/10.1007/s13399-020-00627-y
26. Wijayanti, W., and Sasongko, M. N. (2022). Influence of sweet orange peel oil additive on physicochemical properties of gasoline. *Alexandria Engineering Journal*, *61*(6), 4875-4888. https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.09.057
27. Taghizadeh-Alisaraei, A., Abbaszadeh-Mayvan, A., and Seyyed Hassan Hosseini, S. (2022). Bio-ethanol production from a mixture of rice hull and orange peel wastes, *Biofuels*, 13:2, 171-75, https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1655214
28. Espro, C., Satira, A., Mauriello, F., Anajafi, Z., Moulaee, K., Iannazzo, D., and Neri, G. (2021). Orange peels-derived hydrochar for chemical sensing applications, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 341, 130016. https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130016.
29. Loto, R. T., Mbah, E. H., and Ugada, J. I. (2021). Corrosion inhibition effect of citrus sinensis essential oil extract on plain carbon steel in dilute acid media. *South African Journal of Chemical Engineering*, *35*, 159-164. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.08.004
30. Isibika, A., Vinnerås, B., Kibazohi, O., Zurbrügg, C., and Lalander, C. (2021). Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: *Stratiomyidae*) larvae, *Journal of Cleaner Production*, 318, 128570. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128570.
31. Pascacio-Villafán, C., Guillén, L., Altúzar-Molina, A., Tellez-Mora, J.A., Cruz-Hernández, E., and Aluja, M. (2023). Feeding on the fruit waste orange bagasse modifies immature protein content, body weight, scent bouquet composition, and copula duration in males of a *Tephritid Frugivorous* fly. *Biology*, *12*, 739. https://doi.org/10.3390/biology12050739
32. Bermúdez-Loaiza, J. A., Melo-Camacho, E. P., and Estrada-Álvarez, J. (2015). Whole orange (*Citrus sinensis*) silage assessment as an alternative supplementation in cattle. *Vet y Zoot*. 9(2): 38-53. https://dx.doi.org/10.17151/vetzo.2015.9.2.4.
33. Afifi S.M., Gök R., Eikenberg I., Krygier D., Rottmann E., Stübler A-S., Aganovic K., Hillebrand S., and Esatbeyoglu T. (2023). Comparative flavonoid profile of orange (*Citrus sinensis*) flavedo and albedo extracted by conventional and emerging techniques using UPLC-IMS-MS, chemometrics and antioxidant effects. *Front. Nutr*. 10:1158473. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1158473
34. Fernández-Mayer, A. (2021). Utilización del bagazo de cítricos en

la alimentación de rodeos bovinos de carne y leche. *Revista del Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud (RFANUS)* 3(2):14-24. http://fanus.com.ar/archivos/sabermas/Sabermas-N31

35. dos Santos, L. A., Silva, T. H. L., de Melo Oliveira, C. R., Jucá, J. F. T., and Santos, A. F. D. M. S. (2022). Silage as a pre-treatment of orange bagasse waste to increase the potential for methane generation. *Science of The Total Environment*, *823*, 153613. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153613.
36. Bonesi, M., Loizzo, M. R., Leporini, M., Tenuta, M. C., Passalacqua, N. G., and Tundis, R. (2018). Comparative evaluation of petitgrain oils from six *Citrus* species alone and in combination as potential functional anti-radicals and antioxidant agents. *Plant Biosyst*, *152*, 986-993. https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1403396
37. Russo, C., Maugeri, A., Lombardo, G.E., Musumeci, L., Barreca, D., Rapisarda, A., Cirmi, S., and Navarra, M. (2021). The second life of *Citrus* fruit waste: A valuable source of bioactive compounds. *Molecules*, *26*, 5991. https://doi.org/10.3390/molecules26195991
38. Nieto, G., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Peñalver, R., Ros-Berruezo, G., and Viuda-Martos, M. (2021). Valorization of *Citrus* co-products: Recovery of bioactive compounds and application in meat and meat products. *Plants*, *10*, 1069. https://doi.org/10.3390/plants10061069
39. Fan R., Wang L., Fan J., Sun W., and Dong H. (2022). The pulsed electric field assisted extraction enhanced the yield and the physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel. *Front. Nutr*. 9:925642. https://doi: 10.3389/fnut.2022.925642
40. Consoli S., Caggia C., Russo N., Randazzo C. L., Continella A., Modica G., Cacciola S. O., Faino L., Reverberi M., Baglieri A., Puglisi, I., and Milani M. (2023). sustainable use of citrus waste as organic amendment in orange orchards. *Sustainability*. 15(3):2482. https://doi.org/10.3390/su15032482
41. Neelanjan-Bhattacharjee, N., and Baran-Biswas, A. (2020). Physicochemical analysis and kinetic study of orange bagasse at higher heating rates, *Fuel*, 271:117642. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117642
42. Biswas, B. K., Inoue, K., Harada, H., Ohto, K., and Kawakita, H. (2009). Leaching of phosphorus from incinerated sewage sludge ash by means of acid extraction followed by adsorption on orange waste gel. *Journal of Environmental Sciences, 21(12), 1753–1760.* https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62484-5
43. Alves-Pinto, G. H., Sukunza, X., Teixeira Freire, J., Olazar, M., and Bentes-Freire, F. (2023). Effect of orange waste pretreatment on the fluid dynamics of spouted beds with mechanical agitation, *Powder Technology*, 428:118847. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118847
44. Akpata, M. I., and Akubor, P. I. (1999). Chemical composition and selected functional properties of sweet orange (*Citrus sinensis*) seed flour. *Plant foods for human nutrition*, *54*, 353-362. https://doi.org/10.1023/A:1008153228280

45. Özcan, M. M., and İnan, Ö. (2022). Physico-chemical properties, fatty acid composition and tocopherol contents of mandarin, orange and lemon seed oils. *Erwerbs-Obstbau*, *64*(3), 445-453. https://doi.org/10.1007/s10341-022-00648-z
46. Zayed, A., Badawy, M. T., and Farag, M. A. (2021). Valorization and extraction optimization of citrus seeds for food and functional food applications. *Food Chemistry*, *355*, 129609. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129609
47. Mustafa, M.AM., Sorour, M.AH., Mehanni, AH.E., and Hussien S.H. (2023). Amino acid profile, physico-chemical properties and fatty acids composition of some fruit seed kernels after detoxification. Chem. Biol. Technol. Agric. 10, 37. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00412-9
48. Dongre, P., Doifode, C., Choudhary, S., and Sharma, N. (2023). Botanical description, chemical composition, traditional uses and pharmacology of *Citrus sinensis*: An updated review, *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 8, 100272. https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100272
49. Mazurakova, A., Koklesova, L., Hurta-Csizmár, S., Samec, M., Brockmueller, A., Šudomová, M., Biringer, K., Kudela, E., Pec, M., Mathews-Samuel, S., Kassayova, M., T.S. Hassan, S., Smejkal, K., Shakibaei, M., Büsselberg, D., Saso, L., Kubatka, P., and Golubnitschaja, O. (2024). Significance of flavonoids targeting PI3K/Akt/HIF-1α signaling pathway in therapy-resistant cancer cells – A potential contribution to the predictive, preventive, and personalized medicine, *Journal of Advanced Research*, 55, 103-118, https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.02.015
50. Almasi, S., Najafi, G., Ghobadian, B., and Ebadi, M.T. (2023). Waste to fuel: biodiesel production from bitter orange (*Citrus aurantium*) seed as a novel bio-based energy resource. *Biomass Conversion and Biorefineri.* 13, 6543-6552 (2023). https://doi.org/10.1007/s13399-021-01635-2
51. Agu, C. M., Ani, K. A., Onuabuchi N. Ani, O. N., Chinedu, M. P., Kadurumba, C. H., Isiguzo E., and Ahaneku, I. E. (2024). Waste orange seeds (*Citrus sinensis*) transformation, a viable industrial bio-oil: Oil extraction, physicochemical characterization and vital instrumental analyses studies, *Waste Management Bulletin*, 1(4) 134-142. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.10.008
52. Ezekoye, V., Adinde, R., Ezekoye, D., and Anthony O. (2019). Syntheses and characterization of biodiesel from *Citrus sinensis* seed oil, *Scientific African*, 6(e00217). https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00217.
53. Tahir, Z., Khan, M. I., Ashraf, U., Adan, I. R. D. N., and Mubarik, U. (2023). Industrial application of orange peel waste; a review. https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2023.046
54. Yaradoddi, J.S., Banapurmath, N.R., Ganachari, S.V., Soudagar, M.E.M., Sajjan, A.M., Kamat, S., Mujtaba, M.A., Shettar, A.S., Anqi, A.E., Safaei, M.R., Elfasakany, A., Siddiqui M.I.H., and Ali, M.A. (2022). Bio-based material from fruit waste of orange peel for industrial

applications, *Journal of Materials Research and Technology*. 17:3186-3197. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.016

55. Deba-Rementeria, S., Paz, A., Estrada, O., and Vázquez-Araújo, L. (2023). Consumer perception and physicochemical characterization of a new product made from lactic acid fermented orange peels. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *31*, 100647. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100647
56. Xue, P., Liao, W., Chen, Y., Xie, J., Chang, X., Peng, G., Huang, Q., Wang, Y., Sun, N., and Yu, Q. (2022). Release characteristic and mechanism of bound polyphenols from insoluble dietary fiber of navel orange peel via mixed solid-state fermentation with *Trichoderma reesei* and *Aspergillus niger*. *LWT*, *161*, 113387. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113387
57. Gómez-Urios, C., Vinas-Ospino, A., Puchades-Colera, P., Blesa, J., López-Malo, D., Frígola, A., and Esteve, M. J. (2023). Choline chloride-based natural deep eutectic solvents for the extraction and stability of phenolic compounds, ascorbic acid, and antioxidant capacity from *Citrus sinensis* peel. *LWT*, *177*, 114595. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114595
58. Sepúlveda, L., Laredo-Alcalá, E., Buenrostro-Figueroa, J. J., Ascacio-Valdés, J. A., Genisheva, Z., Aguilar, C., and Teixeira, J. (2020). Ellagic acid production using polyphenols from orange peel waste by submerged fermentation. *Electronic Journal of Biotechnology*, *43*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.11.002
59. Sharma, N., and Tripathi, A. (2008). Effects of Citrus sinensis (L.) Osbeck epicarp essential oil on growth and morphogenesis of *Aspergillus niger* (L.) Van Tieghem, *Microbiological Research*, 163(3):337-344. https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.06.009.
60. Jorge, N., Silva, A. C. D., and Aranha, C. P. (2016). Antioxidant activity of oils extracted from orange (*Citrus sinensis*) seeds. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *88*, 951-958. https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140562
61. Feng, C. H. (2022). Optimizing procedures of ultrasound-assisted extraction of waste orange peels by response surface methodology. *Molecules*. 27(7):2268. https://doi.org/10.3390/molecules27072268
62. Wang, Z., Mei, X., Chen, X., Rao, S., Ju, T., Li, J., and Yang, Z. (2023). Extraction and recovery of bioactive soluble phenolic compounds from brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Effect of different extraction methods thereon. *LWT-Food Science and Technology*, *173*, 114337. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114337
63. Ortiz-Sanchez M., Solarte-Toro J.C., and Cardona-Alzate C. A. (2021b). A comprehensive approach for biorefineries design based on experimental data, conceptual and optimization methodologies: The orange peel waste case. *Bioresource Technology*, Volume 325, 124682. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124682.
64. Fernandez, M.E., Nunnel, G.V., Bonelli, P.R. and Cukierman, A.L. (2014). Activated carbon developed from orange peels: Batch and dynamic competitive adsorption of

basic dyes. *Industrial Crops and Products*. 62:437-445. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.015

65. Patience, N. A., Schieppati, D., and Boffito, D. C. (2021). Continuous and pulsed ultrasound pectin extraction from navel orange peels. *Ultrasonics Sonochemistry*, *73*, 105480. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105480
66. Utekar, P. G., Kininge, M. M., and Gogate, P. R. (2021). Intensification of delignification and enzymatic hydrolysis of orange peel waste using ultrasound for enhanced fermentable sugar production. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 168, 108556. https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108556.
67. Ayala, J.R., Montero, G., Coronado, M.A., García, C., Curiel-Alvarez, M.A., León, J.A., Sagaste, C.A., and Montes D. G. (2021). Characterization of orange peel waste and valorization to obtain reducing sugars. *Molecules*, 26(5): 1348. https://doi.org/10.3390/molecules26051348
68. Pérez-Mora, B., Bertoni, F. A., Mangiameli, M. F., González, J. C.,, and Bellú, S.E. (2020). Batch and fixed-bed column studies of selenite removal from contaminated water by orange peel-based sorbent. *Water Science and Engineering*, 13 (4): 307-316. https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.12.003.
69. Navarro-Cortez, R. O., Aguilar-Palazuelos, E., Castro-Rosas, Javier., Falfán Cortés, R. N., Cadena Ramírez, A., Delgado-Lincon, E., and Gómez-Aldapa, C. A. (2018). Physicochemical and sensory characterization of an extruded product from blue maize meal and orange bagasse using the response surface methodology. *CyTA-Journal of Food*. 16:1, https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1416674.
70. Mantovan J., Yamashita F., and Mali S. (2022). Modification of orange bagasse with reactive extrusion to obtain cellulose-based materials. *Polysaccharides*. 3(2):401-410. https://doi.org/10.3390/polysaccharides3020024
71. Zanon-Belluco, C., Mendoca, F.J., Cereza-Zago, I.C., Di Santis, G.W., Marchi, D.F., and Lourenço-Soares, A. (2022). Application of orange albedo fat replacer in chicken mortadela, *Journal of Food Science and Technology*, 59:3659-3668. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05382-8
72. Thiviya, P., Gamage, A., Kapilan, R., Merah, O., and Madhujith, T. (2022). Single cell protein production using different fruit waste: A review. *Separations*, 9(7): 178. https://doi.org/10.3390/separations9070178
73. Yousof, S. M., Atta, R., Khalil, I. A., Zayed, M. A., and Seddek, A. (2022). Citrus sinensis (Sweet oranges) wastes: The orange wealth. In Mediterranean Fruits Bio-wastes: Chemistry, Functionality and Technological Applications (pp. 261-285). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84436-3_10
74. Zanella, K., and Taranto, O. P. (2015). Influence of the drying operating conditions on the chemical characteristics of the citric acid extracted pectins from ‘pera’sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck)

albedo and flavedo. *Journal of Food Engineering*, *166*, 111-118. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.033

75. Roy, S., Sarkar T., Upadhye V.J., and Chakraborty R. (2023). Comprehensive review on fruit seeds: Nutritional, phytochemical, nanotechnology, toxicity, food biochemistry, and biotechnology perspective. *Appl Biochem Biotechnol*.https://doi.org/10.1007/s12010-023-04674-9.
76. Isah, Akubor, P., Hule, C., and Kombo, A. (2023). Assessment of quality of bread incorporated with defatted sweet orange seed flour, *Food and Health*, 5(1):1-9. https://doi.org/10.53388/FH2023003
77. Hussain, A., Laaraj, S., Kausar, T., Tikent, A., Azzouzi, H., Kauser, S., UI An, Q., Iqbal, A., Akram, S., Nisar R., Ayesha, N., Fatima H., Yaqub, S., and Elfazazi, K. (2023). Food application of orange seed powder through incorporation in wheat flour to boost vitamin and mineral profiles of formulated biscuits. *International Journal of Food Science*, 2023, 1-14. https://doi.org/10.1155772023/6654250
78. Özcan, M. M., Öztürk, Ö., and Lemiasheuski, V. (2023). Quality properties, fatty acid composition, and mineral contents of some citrus seeds and oils extracted by solvent extraction. *Erwerbs-Obstbau*, *65*(1), 127-132. https://doi.org/10.1007/s10341-022-00675-w
79. El-Zaiat, H. M., El-Wakeel, E. S. A., Saber, A. M., Khattab, A. R., and Sallam, S. M. (2022). Influence of replacement levels of orange waste silage on intake, nutrient digestion, ruminal fermentation and milk yield in Barki goats. *Annals of Animal Science*, *22*(1), 283-303. https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0028
80. Haroen, U., Budiansyah, A., and Nelwida, N. (2018). Phytochemical screening and *in vitro* antimicrobial effect of orange (*Citrus sinensis*) ethyl acetate extract silage. *Pakistan Journal of Nutrition*, *17*(5), 214-218. http://dx.doi.org/10.3923/pjn.2018.214.218
81. Parobali, T., Adjei-Mensah, B., Songuine, T., Yarkoa, T., Karou, S. D., and Eklu-Gadegbeku, K. (2023). Influence of *Citrus sinensis* seed powder on growth performance, morphological and histological development of the small intestine of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 100395. https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100395
82. Abbasi, H., Seidavi, A., Liu, W., and Asadpour, L. (2015). Investigation on the effect of different levels of dried sweet orange (*Citrus sinensis*) pulp on performance, carcass characteristics and physiological and biochemical parameters in broiler chicken. *Saudi journal of biological sciences*, *22*(2), 139-146. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.09.006
83. Adubofuor, J., Akyereko, Y. G., Batsa, V., Apeku, O. J. D., Amoah, I., and Diako, C. (2021). Nutrient composition and physical properties of two orange seed varieties. *International journal of food science*. https://doi.org/10.1155/2021/6415620
84. Chilaka, K.C., Ifediba, E.C., and Ogamba, J.O. (2015). Evaluation of the effects of *Citrus sinensis* seed oil on blood glucose, lipid profile and liver enzymes in rats injected with

alloxan monohydrate, *Journal of Acute Disease*, 4(2), 129-134, https://doi.org/10.1016/S2221-6189(15)30022-6.

85. Afolab, E., Oluremi, O., and Orayaga, C. (2023). The effect of biodegradation on sweet orange peel and its feed value in starter broiler chick's diet. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(2), 108-112. https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1193499
86. Fazzino, F., Mauriello, F., Paone, E., Sidari, R., and Calabrò, P.S. (2021). Integral valorization of orange peel waste through optimized ensiling: Lactic acid and bioethanol production, *Chemosphere*, 271, 129602. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129602.
87. She-See, M., Musa, N., Jung-Liew, H., Omaima-Harun, N., and Sharifah-Rahmah, S. (2024). Sweet orange peel waste as a feed additive in growth promoting and protective effect against *Aeromonas hydrophila* of juvenile bagrid catfish *Mystus nemurus*, *Journal of Environmental Management*, (351):119677. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119677
88. Kesbiç, O. S., Acar, Ü., Mohammady, E. Y., Salem, S. M., Ragaza, J. A., El-Haroun, E., and Hassaan, M. S. (2022). The beneficial effects of citrus peel waste and its extract on fish performance and health status: A review. *Aquaculture Research*, *53*(12), 4217-4232. https://doi.org/10.1111/are.15945
89. Maqbool, Z., Khalid, W., Atiq, H.T., Koraqi, H., Javaid, Z., Alhag, S.K., Al-Shuraym, L.A., Bader, D.M.D.; Almarzuq, M., Afifi, M., and AL-Farga, A. (2023). Citrus waste as source of bioactive compounds: Extraction and utilization in health and food industry. *Molecules*, *28*, 1636. https://doi.org/10.3390/molecules28041636
90. Nirmal, N.P., Khanashyam, A.C., Mundanat, A.S., Shah, K., Babu, K.S., Thorakkattu, P., Al-Asmari, F., and Pandiselvam, R. (2023). Valorization of fruit waste for bioactive compounds and their applications in the food industry. *Foods*, *12*, 556. https://doi.org/10.3390/foods12030556
91. Santos M.I.S., Marques C., Mota J., Pedroso L., and Lima A. (2022). Applications of essential oils as antibacterial agents in minimally processed fruits and vegetables-A review. *Microorganisms*. 10(4):760. https://doi.org/10.3390/microorganisms10040760
92. Rațu, R.N. Veleșcu, I.D. Stoica, F. Usturoi, A. Arsenoaia, V.N. Crivei, I.C. Postolache, A.N. Lipșa, F.D. Filipov, F., and Florea, A.M. (2023) Application of agri-food by-products in the food industry. *Agriculture*, *13*, 1559. https://doi.org/10.3390/agriculture13081559
93. Heydari, M., Rostami, O., Mohammadi, R., Banavi, P., Farhoodi, M., Sarlak, Z., and Rouhi, M. (2021). Hydrodistillation ultrasound-assisted green extraction of essential oil from bitter orange peel wastes: Optimization for quantitative, phenolic, and antioxidant properties, *Journal of Food Processing and preservation. Institute of Food Science Technology IFST*. 41(7):15585. https://doi.org/10.1111/jfpp.15585
94. Dita-Mayangsari, F., Dwi Pratiwi, E., and Kumala-Sari, D. I. (2022). Physical characteristics and hedonic

test of hand cream with eucalyptus and sweet orange oil. *Proceedings of the Internacional Conference on Sustainable Innovation on Healt Sciences and Nursing* (ICOSI-HSN 2022), 113:2468-5739. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-070-1_16

95. Bigoniya, P., and Singh, K. (2014). Ulcer protective potential of standardized hesperidin, a citrus flavonoid isolated from *Citrus sinensis*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, *24*, 330-340. https://doi.org/10.1016/j.bjp.2014.07.011
96. Padilla-Camberos, E., Sanchez-Hernandez, I. M., Torres-Gonzalez, O. R., del Rosario Gallegos-Ortiz, M., Méndez-Mona, A. L., Baez-Moratilla, P., and Flores-Fernandez, J. M. (2022). Natural essential oil mix of sweet orange peel, cumin, and allspice elicits anti-inflammatory activity and pharmacological safety similar to non-steroidal anti-inflammatory drugs. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*(5), 3830-3837. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.002
97. Karabiber, E. B., Zorba, N. N., and Yılmaz, E. (2018). Antimicrobial and functional properties of the proteins extracted from lemon, orange and grapefruit seeds press meals. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *10*(2), 145-153. https://doi.org/10.3920/QAS2017.1169
98. Salem, S. S., Badawy, M. S. E. M., Al-Askar, A. A, Arishi, A. A, Elkady, F. M., and Hashem, A. H. (2022). Green biosynthesis of selenium nanoparticles using orange peel waste: Characterization, antibacterial and antibiofilm activities against multidrug-resistant bacteria. *Life*, 12(6):893. https://doi.org/10.3390/life12060893
99. Seyadeh-Narges, M., Mora, L., Aristoy, M-C., Sadeghi-Mahoonak, A., Ghorbani, M., Houshmand, G., and Fidel-Toldrá, F. (2020). Impact of simulated gastrointestinal digestion on the biological activity of an alcalase hydrolysate of orange seed (*Siavaraze, Citrus sinensis*) by-products. *Foods,* 9*(*9): 1217. https://doi.org/10.3390/foods9091217
100. Atolani, O., Adamu, N., Oguntoye, O. S., Zubair, M. F., Fabiyi, O. A., Oyegoke, R. A., Adeyemi, O.S., Areh, E.T., Tarigha, D.E., and Olatunji, G. A. (2020). Chemical characterization, antioxidant, cytotoxicity, anti-*Toxoplasma gondii* and antimicrobial potentials of the *Citrus sinensis* seed oil for sustainable cosmeceutical production. *Heliyon*, *6*(2) e03399. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03399
101. Ortiz-Sanchez, M., Cardona-Alzate, C.A., and Solarte-Toro, J.C. (2024). Orange peel waste as a source of bioactive compounds and valuable products: Insights based on chemical composition and biorefining. *Biomass*, *4*, 107-131. https://doi.org/10.3390/biomass4010006
102. El Gheriany, I. A., El Saqa, F. A., Amer, A. A. E. R., and Hussein, M. (2020). Oil spill sorption capacity of raw and thermally modified orange peel waste. *Alexandria Engineering Journal*, *59*(2), 925-932. https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.024
103. Ramutshatsha-Makhwedzha, D., Mavhungu, A., Moropeng, M. L., and Mbaya, R. (2022). Activated carbon derived from waste orange and

lemon peels for the adsorption of methyl orange and methylene blue dyes from wastewater. *Heliyon*, *8*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09930

104. Foroutan, R., Peighambardoust, S.J., Ghojavand, S., Forughi, M., Ahmadi, A., Bahador, F., and Ramavandi, B. (2023). Development of a magnetic orange seed/Fe_3O_4 composite for the removal of methylene blue and crystal violet from aqueous media. *Biomass Conversion and Biorefineri*. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04692-x
105. Alex, Y., Earnest, J., Raghavan, A., Roy, R. G., and Koshy, C. P. (2022). Study of engine performance and emission characteristics of diesel engine using cerium oxide nanoparticles blended orange peel oil methyl ester. *Energy Nexus*, *8*, 100150. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100150
106. Anaya-Gil, J., Cabarcas-Caro, A., Leyva-Ricardo, M., Parra-Garrido, J., Gaitan-Ibarra, R., and Vivas-Reyes, R. (2021). Artificial modification of the chemical composition of orange oil (*Citrus sinensis* L.) and its effect on larvicidal activity, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3):1913-1918. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.042