

## Aplicaciones de las cáscaras de frutas en la agroindustria: una revisión sistemática

*Applications of Fruit Peels in the Agro-Industry: a systematic review*

  **Elmer Yampier Zamora-Sánchez<sup>1\*</sup>**

  **Pablo Jefferson Barboza-Suárez<sup>1</sup>**

  **Paúl Alexis Sisniegas-Gálvez<sup>1</sup>**

  **Julio César Rojas-Naccha<sup>1</sup>**

  **Ulises Benjamin Narro-Altamirano<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional De Trujillo, Perú.

### \*Correspondencia:

Zamora Sánchez, Elmer Yampier

**Fecha de recepción** : 20/11/2025  
**Fecha de Revisión** : 15/03/2026  
**Fecha de aceptación** : 20/04/2026  
**Fecha de publicación** : 04/05/2026

**Como citar:** Zamora Sánchez, E.Y., Sisniegas Gálvez, P.A., Barboza Suárez, P.J., Rojas Naccha J.C. y Narro Altamirano, U.B. Aplicaciones de las Cáscaras de Frutas en la Agroindustria. Una Revisión Sistemática. *Revista de Investigación Científica de la UNF-Aypate*, 5(1), 177–214. <https://doi.org/10.57063/ricay.v5i1.197>

## RESUMEN

La agroindustria contemporánea enfrenta un grave problema ambiental por la acumulación masiva de residuos frutales, cuya lenta degradación y desaprovechamiento de fitonutrientes en cáscaras motivó una revisión sistemática en Scopus con 65 artículos validados entre 2020 y 2025 bajo criterios de ingeniería agroalimentaria. Los hallazgos indican que granada y naranja lideran las aplicaciones experimentales, seguidas de mango y plátano, con tendencias tecnológicas enfocadas en extracción de compuestos bioactivos, desarrollo de alimentos funcionales, embalajes activos y usos médicos. El análisis categórico revela que el 48% de la investigación actual se dedica a la valorización de residuos, el 29% a biotecnología y el 23% a ciencia de alimentos. Se concluye que, aunque las cáscaras poseen un potencial excepcional para la bioeconomía circular mediante la creación de biomateriales y compuestos de alto valor agregado, persiste un vacío significativo en el estudio de la biodiversidad frutal regional. Además, se identificaron barreras críticas en la escalabilidad industrial de estos procesos, lo que exige metodologías más eficientes para transformar subproductos en recursos estratégicos dentro de una cadena productiva sostenible y biotecnológicamente avanzada. Superar estas limitaciones resulta esencial para asegurar la viabilidad técnica y económica del aprovechamiento integral de los desechos orgánicos en el sector agroindustrial global, promoviendo así modelos circulares que reduzcan el impacto ambiental y generen valor a partir de lo que hoy se descarta como residuo.

**Palabras clave:** aplicaciones, cáscaras de fruta, agroindustria.

### ABSTRACT

Contemporary agribusiness faces a serious environmental problem due to the massive accumulation of fruit waste. The slow degradation and underutilization of phytonutrients in peels prompted a systematic review in Scopus, which included 65 validated articles published between 2020 and 2025 using agri-food engineering criteria. The findings indicate that pomegranate and orange lead experimental applications, followed by mango and banana, with technological trends focused on the extraction of bioactive compounds, the development of functional foods, active packaging, and medical uses. The categorical analysis reveals that 48% of current research is dedicated to waste valorization, 29% to biotechnology, and 23% to food science. The review concludes that, although peels possess exceptional potential for the circular bioeconomy through the creation of biomaterials and high-value-added compounds, a significant gap remains in the study of regional fruit biodiversity. Furthermore, critical barriers to the industrial scalability of these processes were identified, necessitating more efficient methodologies for transforming byproducts into strategic resources within a sustainable and biotechnologically advanced production chain. Overcoming these limitations is essential to ensuring the technical and economic viability of the comprehensive utilization of organic waste in the global agro-industrial sector, thereby promoting circular models that reduce environmental impact and generate value from what is currently discarded as waste.

**Keywords:** applications, fruit peelings, agro-industry.

### 1. INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la agroindustria ha generado volúmenes críticos de residuos frutales que plantean desafíos ambientales severos y persistentes, debido a su lenta degradación (Ariwaodo & Olaniyan, 2024; Stefanello & Rosa, 2012). A pesar de su riqueza intrínseca en fitonutrientes, las cáscaras son frecuentemente descartadas como desechos sólidos sin recibir un aprovechamiento integral previo (Wanapat et al., 2024). La gestión histórica de estos subproductos se limitaba a usos de bajo valor, pero la bioeconomía actual impulsa su transformación estratégica en ingredientes funcionales (Llano & Carrillo, 2015; Manuel Serrat Díaz et al., 2016). Por ejemplo, se ha demostrado que las

cáscaras de naranja permiten fabricar envases comestibles que prolongan la frescura de otros frutos perecederos (Rahma et al., 2024).

Otras innovaciones, como el uso de aceites esenciales cítricos y la elaboración de mermeladas a partir de trozos naturales de cáscara, representan vías para incrementar el valor económico de estos subproductos (Amanullah et al., 2024; Nowalid et al., 2024). Incluso residuos voluminosos como los del durión se investigan por su alto contenido celulósico para actuar como absorbentes eficientes en procesos de purificación industrial (Tambun et al., 2024). Asimismo, procesos biotecnológicos de vanguardia permiten la síntesis ecológica de nanopartículas de oro, a partir de

papaya, o la recuperación dirigida de carotenoides de la piel del tomate (Aldana-Heredia et al., 2024; Patra et al., 2024). No obstante, la falta de una síntesis centralizada de estos usos impide que la industria identifique las rutas tecnológicas con mayor viabilidad económica actual (Aguilar-Méndez et al., 2020).

La evidencia científica resalta que la presencia de fibra, proteínas, carbohidratos, grasas, fitoquímicos y otros compuestos bioactivos en los residuos pulposos de la fruta abre un amplio espectro de oportunidades para su uso como biomateriales en la industria de suplementos alimenticios (Ariwaodo & Olaniyan, 2024). Sin embargo, la persistente dispersión informativa y desperdicio masivo de recursos conduce a la interrogante central de la presente investigación: ¿Cuáles son las aplicaciones de las cáscaras de frutas en la agroindustria?

Así, el objetivo de esta revisión sistemática fue analizar las cáscaras de frutas con mayores aplicaciones en la agroindustria.

Los objetivos específicos fueron: clasificar los trabajos en diversas líneas de investigación mediante la categorización de estudios relevantes en función de las áreas de investigación específicas e identificar las frutas más utilizadas en los experimentos de investigación que han empleado cáscaras de frutas como material.

Esta investigación es necesaria, porque puede abrir nuevas vías para la

utilización de subproductos en la agroindustria, lo que puede presentar beneficios significativos, tanto para el sector como para el medio ambiente. Al entender mejor las propiedades y aplicaciones de las cáscaras de frutas podemos avanzar hacia una agroindustria más sostenible y eficiente.

## 2. METODOLOGÍA

Este artículo fue realizado mediante la revisión bibliográfica de la literatura en función del idioma (inglés), la antigüedad y se tomó en cuenta como estrategia principal el uso de las palabras clave más relevantes de la investigación: *fruit, peel, food*.

Se tuvo en cuenta la base de datos de Scopus para realizar la búsqueda de publicaciones relacionadas con la ingeniería. El estudio abarcó los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- 1) Se incluyeron artículos con una antigüedad no mayor a 5 años para asegurar la información relevante y actualizada, considerando así escritos científicos a partir del 2020.
- 2) Se incluyeron artículos relacionados con el sector agroindustrial. Este criterio se adoptó para orientar y clasificar la información dentro del campo de nuestro interés.
- 3) No se tomaron en cuenta tesis en repositorios. Solo se consideraron artículos científicos publicados en

revistas indizadas en Scopus.

- 4) Se consideraron publicaciones en inglés, ya que este idioma cuenta con una gran cantidad de investigaciones en las principales bases de datos.
- 5) Se consideraron artículos a nivel mundial, dado que la reutilización de cáscaras de frutas es un interés creciente en todo el mundo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la búsqueda para determinar las aplicaciones más utilizadas de las cáscaras de frutas en la agroindustria y después de poner en ejercicios las ecuaciones de indagación en Scopus, se obtuvieron los siguientes artículos validados como se muestra en la tabla 1. El total de los mismos fue 65 escritos en inglés de los últimos cinco (5) años, considerando un (1) artículo del 2025.

**Tabla 1**

*Cantidad de artículos validados en Scopus y publicados en inglés*

Scopus	
Año	Inglés
2020	4
2021	6
2022	7
2023	5
2024	42
2025	1
Total	65

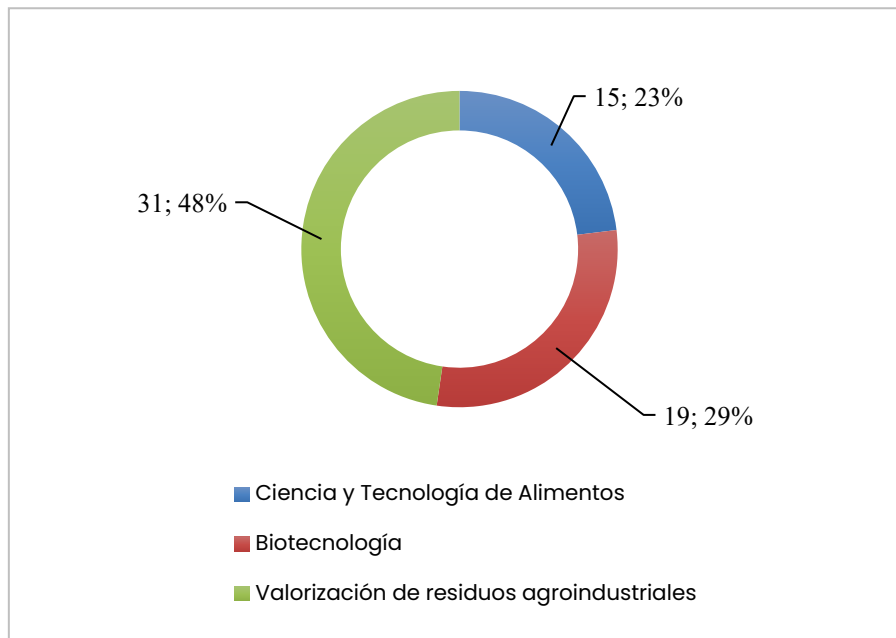
**Nota:** En la tabla se observan los artículos publicados por año.

En la Tabla 1 se evidencia que, durante el año 2024, hubo un incremento significativo en la proporción de artículos publicados en Scopus sobre aplicaciones de cáscaras de frutas. Este crecimiento responde a la urgencia global de desarrollar soluciones innovadoras que promuevan la economía circular, facilitando el cierre de ciclos de materiales y optimizando el uso eficiente de los recursos (Imbernó Díaz et al., 2024). Asimismo, este auge refleja la

incorporación acelerada de conocimientos científicos y avances tecnológicos, los cuales han permitido explorar nuevas alternativas y senderos productivos. Dichos avances están impulsando la aplicación de tecnologías emergentes en el aprovechamiento sostenible de recursos y procesos biológicos, consolidando así un enfoque integral para la gestión de residuos orgánicos (de Jaramillo, 2018).

**Figura 1**

*Líneas o campos de investigación*



**Nota.** En el gráfico circular se observan las cantidades y porcentajes de los artículos clasificados según las líneas o campos de investigación.

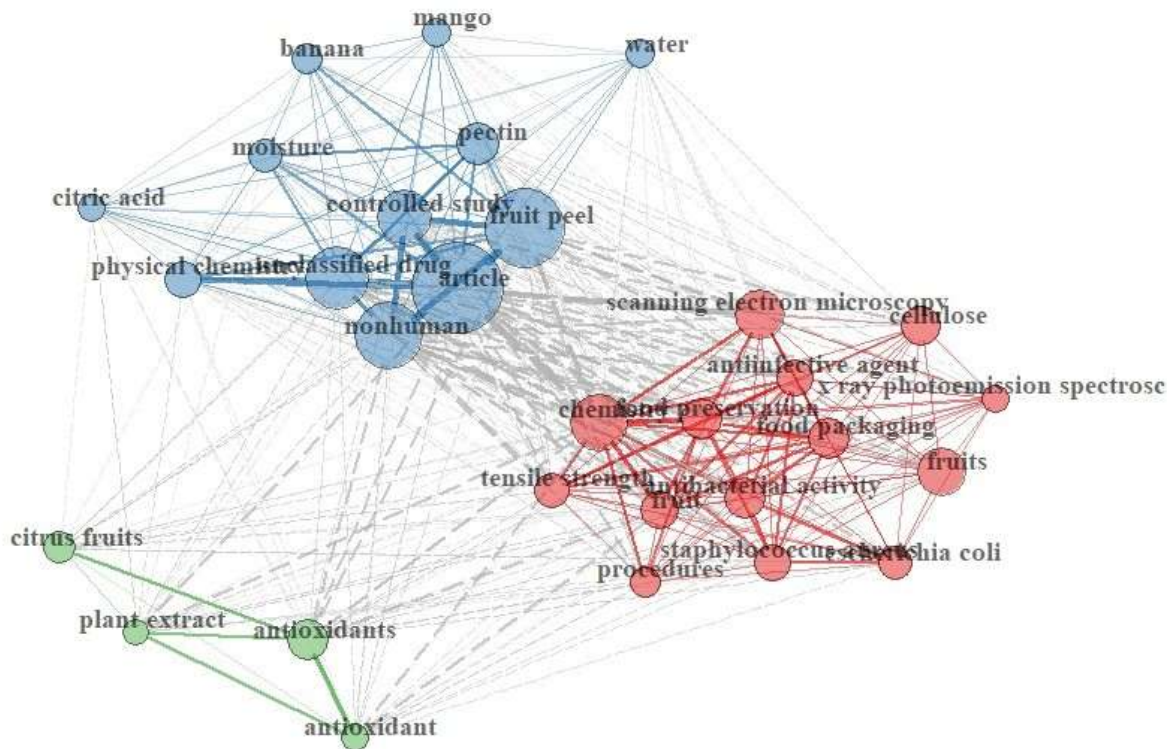
En la Figura 1, se ha observado en el campo donde hay mayor publicación es la valoración de residuos agroindustriales con un 48%, esto se debe a una continua exploración de alternativas biotecnológicas para el aprovechamiento integral de los residuos generados en el procesamiento agroindustrial (Manuel Serrat Díaz et al., 2016). El siguiente campo con mayor aplicación es en biotecnología con un 29%, esto debido a sus características y

su capacidad para influir en el desarrollo de productos y procesos circulares orientados al bienestar de la población (de Jaramillo, 2018).

Por otra parte, se ha mostrado que el tema de Ciencia y Tecnología de Alimentos con un 23%, esto debido a que permite utilizar partes no convencionales, para agregar valor a las preparaciones nutritivas, reducir costos y minimizar el desperdicio (Stefanello & Rosa, 2012).

**Figura 2**

*Líneas o campos de investigación*



**Nota.** Resultados del análisis bibliométrico basado en la coocurrencia de palabras clave, elaborado con el software RStudio y aplicando un umbral mínimo de 5 menciones por término.

En la Figura 2 se muestra el análisis bibliométrico de coocurrencia de palabras elaborado con el programa Rstudio. Este fue hecho exclusivamente en artículos científicos extraídos de la base de datos Scopus. Para la construcción del mapa bibliográfico, se aplicó el método de coocurrencia, tomando como unidad de análisis las palabras clave y un recuento completo. Para ello, VOSviewer identificó 1005, donde solo 45 cumplieron el umbral. A partir de ello, se evidencian las conexiones entre 45 términos que

aparecen al menos cinco veces en el conjunto de datos analizado. Esto responde a la imagen. Entre las palabras más destacadas se encuentran: “fruits” (con 18 apariciones), “article” (17), “fruit” (16), “fruit pell” (16) y “food packaging” (15). En el mapa de correlación de palabras clave, la frecuencia de las ellas se ve reflejado en el tamaño de los círculos como en el de sus etiquetas. Por otra parte, la relación o vínculo entre los términos se observa en la cercanía entre los anteriores.

**Tabla 2**  
*Ciencia y Tecnología de Alimentos*

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de mango, naranja y limón se emplean como subproductos valorizados en la industria alimentaria. La cáscara de mango se utiliza para extraer pectina en condiciones óptimas (94,6 °C, 118,7 min, pH 2,01) y esta se aplica en la elaboración de mermeladas y jaleas con mejores propiedades fisicoquímicas y aceptación sensorial. Las de naranja y limón, por su parte, se emplean directamente como ingredientes principales en una mermelada en barra (slice jam), combinadas con azúcar y gelatina, las que alcanzan una textura óptima con 10 gr. de cáscara de limón, 15 gr. de naranja y 8 gr. de azúcar.	Elaboración de mermeladas y jaleas	- Limón - Naranja - Mango	(Nowalid et al., 2024) y (Gemechu et al., 2024)
Las cáscaras de naranja se emplean como materia prima para la extracción de pectina, aprovechando el alto contenido de este compuesto (hasta 90 %). La pectina obtenida se utiliza en la elaboración de recubrimientos comestibles (edible packaging) que se aplican sobre frutas para prolongar su vida útil y mantener su frescura, constituyendo una alternativa de procesamiento efectiva para alimentos perecederos.	Elaboración de envases comestibles	- Naranja	(Rahma et al., 2024)
Las cáscaras de pitahaya se emplean como materia prima para la elaboración de harina, la cual presenta un alto contenido de proteína (6,72 gr./100 gr.), fibra dietética (56,56 gr./100 gr.), minerales (especialmente potasio), betalainas y compuestos fenólicos (como catequina, quercetina y miricetina). Además, esta se utiliza como ingrediente potencial para el enriquecimiento de alimentos, gracias a sus excelentes propiedades tecnofuncionales (capacidad de retención de agua y aceite, y capacidad de hinchamiento) y su elevada capacidad antioxidante.	Elaboración de Harina	- Pitahaya	(Reyes-García et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de granada se emplean como aditivo en películas para envases activos, aportando propiedades antioxidantes y antimicrobianas que modifican el espesor, la permeabilidad al vapor de agua y las propiedades mecánicas, ópticas y térmicas de los films. Por su parte, las cáscaras de pera roja se utilizan como fuente de antocianinas que se incorporan en películas a base de almidón de semillas de caimito (wampee) para desarrollar envases activos e inteligentes. Estos otorgan la capacidad antioxidante, respuesta cromática frente al pH y mayor barrera a los rayos ultravioleta. Asimismo, las cáscaras de mango se emplean como base para preparar películas antimicrobianas combinadas con los polifenoles del té. Las primeras se aplican en el envasado de carne de pechuga de pollo reduciendo la transmisión de gases e inhibiendo el crecimiento microbiano.</p> <p>De igual manera, las cáscaras de limón se aprovechan para extraer pectina que, mezclada con quitosano y extracto de hoja de neem, forma películas biodegradables con actividad antimicrobiana utilizadas como recubrimiento en albaricoques, logrando aumentar su vida útil en un 50 %.</p> <p>Finalmente, las cáscaras de caimito (star apple) se emplean como fuente de antocianinas para elaborar películas termoplásticas de almidón de maíz que actúan como indicadores de pH, cambiando de color, según la acidez, y ofreciendo una herramienta visual para monitorear la frescura de los alimentos.</p>	Elaboración de películas de embalaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granada</li> <li>- Pera</li> <li>- Mango</li> <li>- Limon</li> <li>- Caimito</li> </ul>	(Soleimanzadeh et al., 2024), (Jiang et al., 2024), (Chen et al., 2024), (Firdaus et al., 2024) y (Chim-Chi et al., 2024)
<p>Las cáscaras de mandarina se emplean como subproducto valorizado dentro de la economía circular, aprovechando sus propiedades bioactivas y beneficios para la salud, que incluyen efectos anticancerígenos, cardioprotectores, antioxidantes, antiinflamatorios y neuroprotectores, entre otros. Estas cáscaras, provenientes de la especie <i>Citrus reticulata</i> y envejecidas por más de tres años, se utilizan como ingrediente funcional de valor agregado en el desarrollo de productos alimenticios y suplementos saludables, tales como té, gachas y formulaciones medicinales tradicionales.</p>	Desarrollo de productos funcionales y nutraceuticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mandarina</li> </ul>	(Shi et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de granada y de manzana se emplean como fuentes de compuestos bioactivos para la elaboración de películas antimicrobianas.</p> <p>De la cáscara de granada se extrae punicalagina, mientras que de los residuos de manzana (pomaza) se obtiene pectina, los cuales se incorporan en una matriz de proteína aislada de soya. Las películas resultantes presentan mayor resistencia mecánica, propiedades de barrera y actividad antimicrobiana frente a <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Escherichia coli</i> y <i>Aspergillus niger</i>, y al ser aplicadas como recubrimiento en fresas reducen la pérdida de peso, prolongan la vida útil y mantienen la frescura del fruto.</p>	Elaboración de películas antimicrobianas biodegradables	- Manzana - Granada	(Guo et al., 2024)
<p>Las cáscaras de mango se emplean como materia prima para la obtención de un extracto acuoso con propiedades antihelmínticas, el cual se administra en cabras para reducir la carga parasitaria por <i>Haemonchus contortus</i>. En concentraciones de hasta 5%, este extracto demostró ser efectivo como alternativa a los fármacos convencionales, mejorando parámetros hematológicos sin afectar el consumo, la digestibilidad ni la función hepatorenal de los animales.</p>	Elaboración de un extracto con propiedades antihelmínticas	- Mango	(Prasetyo et al., 2024)
<p>Las cáscaras de pomelo se emplean como fuente de fibra dietética insoluble (PIDF) para desarrollar geles emulsionantes. Mediante tratamientos de molienda mecánica e hidrólisis con celulasa, se modifican las propiedades de la fibra, la cual actúa como emulsionante limpio (clean emulsifier) al formar estructuras tridimensionales que estabilizan las emulsiones mediante el apresamiento de gotas de aceite, determinando que la integridad de la red de fibra, más que el tamaño de partícula, es clave para la estabilidad.</p>	Elaboración de geles en emulsión	- Pomelo	(K. Gao et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de pitahaya roja ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ) se emplean para obtener un extracto etanólico con el que se formulan películas orales de tipo tira (OTFS) mediante el método de colado con solvente. Estas películas, que contienen concentraciones del extracto entre 5% y 15%, mostraron estabilidad durante dos meses a diferentes temperaturas y presentaron actividad antibacteriana frente a <i>Streptococcus mutans</i> y con diámetros de inhibición de hasta 12,9 mm., lo que las convierte en un producto potencial como refrescante bucal con propiedades antimicrobianas.	Elaboración de tiras de película delgada oral (OTFS)	- Pitahaya	(Apriliani et al., 2024)
Las cáscaras de granada se emplean, junto con el mesocarpio, como subproductos para obtener extractos acuosos ricos en taninos hidrolizables y flavonoides con actividad antimicrobiana y antioxidante. Estos extractos se incorporan durante la elaboración de queso, logrando aumentar la firmeza del producto y reducir en más de un logaritmo a las poblaciones de <i>Staphylococcus aureus</i> durante 12 días de almacenamiento en refrigeración. Esto representa una alternativa sostenible a los conservantes químicos en el marco de la economía circular.	Producción de queso funcional antimicrobiano	- Granada	(Parafati et al., 2021)

**Nota.** En la Tabla 2 se observan los subproductos frutales revalorizados como ingredientes funcionales, harinas y biopolímeros para la industria alimentaria.

En la tabla 2 se observan las diferentes aplicaciones de las cáscaras de frutas en el campo de ciencia y tecnología de alimentos. Al realizar un análisis comparativo entre las investigaciones recopiladas, se identifican tres grandes áreas de aplicación con distinto nivel de desarrollo. La primera y más consolidada corresponde al uso de las cáscaras como ingredientes funcionales en matrices alimentarias convencionales, destacando su incorporación en forma de harinas, mermeladas, emulsiones y geles de emulsión. Este enfoque representa la forma más directa de

valorización, ya que aprovecha la versatilidad de las cáscaras, su abundancia en compuestos bioactivos y sus propiedades tecnofuncionales, lo que las posiciona como una materia prima valiosa y atractiva para la industria alimentaria (Llano & Carrillo, 2015). Una segunda línea de aplicación, que muestra un creciente interés, es el desarrollo de productos funcionales y nutracéuticos. En esta categoría se incluyen el extracto con propiedades antihelmínticas y las tiras de película oral, lo que evidencia una tendencia hacia la obtención de productos de mayor valor

agregado con aplicaciones que trascienden la nutrición básica y se extienden hacia los ámbitos farmacéutico y de salud. Este fenómeno refleja la convergencia entre la ciencia de

alimentos y la biotecnología farmacéutica, impulsada por la necesidad de desarrollar soluciones sostenibles basadas en subproductos (Vargas et al., 2019).

**Tabla 3**  
*Biotechnología*

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de papaya se emplean como materia prima para obtener un extracto acuoso (VPPE) que permite sintetizar nanopartículas de oro (AuNPs) mediante un método rápido, económico y ecológico. Estas nanopartículas, con un tamaño promedio de 112,2 nm. y la potencial zeta de -26,1 mV., demostraron una significativa actividad antioxidante (93,24 % de inhibición del DPPH), antidiabética (95,63 % de inhibición de $\alpha$ -glucosidasa), moderada actividad antitirosinasa (30,76 %), así como capacidad antibacteriana y fotocatalítica para la degradación de colorantes como naranja de metilo y azul de metileno, lo que las hace potencialmente aplicables en las industrias alimentaria, cosmética y biomédica.	Producción de nanopartículas de oro	- Papaya	(Patra et al., 2024)
Las cáscaras de durian se emplean como materia prima para la producción de carbón activado, aprovechando su alto contenido de celulosa y lignina (80,6 % de carbono). Este carbón activado se utiliza como absorbente en la purificación de glicerol crudo acidificado, logrando una pureza del 96,26% en condiciones óptimas (relación molar ácido fosfórico:glicerol de 1:1 y relación másica adsorbente:glicerol de 25%), cumpliendo con los estándares de calidad establecidos.	Absorbente para la purificación de glicerol crudo	- Durian	(Tambun et al., 2024)
Las cáscaras de naranja se emplean como material principal en la preparación de hidrogeles para el desarrollo de piel electrónica (electronic skin) sostenible y biocompatible. Específicamente, se utiliza el mesocarpio liofilizado de la naranja, el cual se incorpora junto con un marco orgánico metálico de cobre en una matriz de alcohol polivinílico y ácido hialurónico. El hidrogel resultante presenta una alta elongación a la rotura (290%), capacidad de autocuración, conductividad eléctrica (0,14 S/m) y propiedades antibacterianas (95,3%), constituyendo una alternativa ecológica para dispositivos electrónicos flexibles.	Componente principal de la elaboración de un hidrogel	- Naranja	(Ran et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de granada se emplean como conservante natural en la elaboración de muffins, utilizando el polvo de cáscara (PPP) que posee compuestos bioactivos con actividad antioxidante y antimicrobiana. Este polvo, incorporado en un 8%, mostró actividad antifúngica frente a <i>Penicillium</i> sp. y <i>Aspergillus</i> sp., comparable a conservantes químicos como sorbato de potasio y propionato de calcio. Su adición incrementó significativamente el contenido de fibra (418,36%), fenoles totales y actividad antioxidante (DPPH y FRAP) en los muffins, además de mejorar la textura y prolongar la vida útil durante el almacenamiento, constituyendo una alternativa efectiva a los conservantes sintéticos en productos de panadería.</p>	Conservante natural	- Granada	(Giri et al., 2024)
<p>Las cáscaras de plátano se emplean como materia prima para la extracción de pectina, utilizando ácido clorhídrico en condiciones óptimas de pH 1,5 y 250 minutos, especialmente a partir de cáscaras verdes que alcanzan un rendimiento del 16,46%. Esta pectina se utiliza como sustituto de grasa en la elaboración de muffins (tratamiento M4), logrando reducir el contenido de grasa, los valores de peróxido, los ácidos grasos libres, la pérdida de humedad y la dureza, manteniendo una alta aceptación sensorial y ofreciendo una alternativa para aprovechar los residuos de cáscara en la industria alimentaria.</p>	Sustituto de grasa en muffins	- Plátano	(Ahsan et al., 2024)
<p>Las cáscaras de mango se emplean como fuente de hidrocoloides ricos en carbohidratos, los cuales forman hidrogeles termoinducidos con comportamiento pseudoplástico y capacidad para estabilizar emulsiones de aceite en agua. Estos hidrocoloides, con un peso molecular promedio de 101.515 g/mol., generan geles con un módulo de almacenamiento que aumenta significativamente a concentraciones superiores al 2,5% en peso, y producen emulsiones con diámetros medios de 10,04 a 82,52 <math>\mu\text{m}</math>. y potenciales zeta entre -17,63 y -11,12 mV, lo que les confiere un potencial adecuado para su implementación en diversas matrices alimentarias con beneficios funcionales y nutricionales.</p>	Estabilizador para las emulsiones aceite/agua	- Mango	(Marsiglia-Fuentes et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de piña se emplean como fuente de nanofibrillas de celulosa (CNF), las cuales sirven como sustrato para el crecimiento de nanosheets de cobalto-manganeso (CoMn-NS), formando un material antibacteriano con actividad similar a la oxidasa. Este material genera especies reactivas de oxígeno ( $^{1}O_2$ y $^{1}O_2^-$ ) que inactivan significativamente <i>Staphylococcus aureus</i> (74,14%) y <i>Escherichia coli</i> (54,87%), sin presentar citotoxicidad. Además, se autoensambla en un papel flexible, estable y antibacteriano que protege heridas en peras contra la descomposición microbiana, demostrando su potencial para aplicaciones en conservación de alimentos, textiles y biomedicina.	Conservación de frutas y antibacterianas	- Piña	(Zhu et al., 2024)
Las cáscaras de cítricos se emplean como biomasa para sintetizar bioplásticos activos y biodegradables mediante el entrelazamiento a nanoescala y el reordenamiento de enlaces de hidrógeno entre la pectina, los polifenoles y las microfibrillas/nanofibrillas de celulosa presentes de forma endógena en la cáscara. Estos bioplásticos presentan flexibilidad, resistencia a la tracción, propiedades de barrera a gases y actividad antimicrobiana, lo que permite prolongar la vida útil de frutas percederas como el plátano y el mango cuando se utilizan como envase. Además, demostraron ser no tóxicos, degradables y reciclables, ofreciendo una estrategia sostenible para convertir residuos de cáscara en materiales ecológicos.	Producción de bioplásticos	- Cítricos	(S. Zhang et al., 2024)
Las cáscaras de plátano verde se emplean como sustrato para la producción de tanasa por la bacteria <i>Bacillus xiamenensis</i> BRI, aprovechando su contenido de taninos hidrolizables (7,84%). Utilizando polvo de cáscara al 10% (w/v) como medio de producción y bajo condiciones óptimas de fermentación establecidas mediante diseños factoriales, se logró un aumento de 2,4 veces en el rendimiento de la enzima en comparación con medios no optimizados, lo que posiciona a la cáscara de plátano como una materia prima valiosa para la obtención de esta enzima de aplicación industrial.	Sustrato para la producción de tanasa	- Plátano	(Alfarhan et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de naranja se emplean como residuo para obtener hidrolizados (OPH) que actúan como fuente de carbono de bajo costo en la producción de licopeno mediante fermentación con una cepa modificada de <i>Escherichia coli</i> . Para ello, los residuos se someten a un pretratamiento con ácido diluido e hidrólisis enzimática, alcanzando una concentración de azúcares totales de 62,18 g/L. Posteriormente, mediante la optimización con metodología de superficie de respuesta y la fermentación en biorreactor, se logró una producción máxima de licopeno de 1043 mg/L. El licopeno obtenido demostró una buena capacidad antioxidante, lo que abre nuevas posibilidades para el aprovechamiento de residuos de frutas en aplicaciones alimentarias y farmacéuticas.	Componente alternativo para la producción de licopeno	- Naranja	(Hammad Hussain et al., 2024)
Las cáscaras de melón se emplean como biosorbente de bajo costo (AML) para la remoción de níquel (Ni(II)) en sistemas acuosos, aprovechando su composición rica en grupos funcionales oxigenados y mesoporos. El proceso de biosorción alcanza el equilibrio en 180 minutos, con una capacidad máxima de 11,11 mg. g <sup>-1</sup> a 30 °C, ajustándose al modelo cinético de pseudo-segundo orden y a la isoterma de Langmuir. La eficiencia de remoción alcanzó el 88,8% con una dosis de 2,5 g L <sup>-1</sup> , y los parámetros termodinámicos confirmaron un proceso espontáneo y endotérmico, posicionando a la cáscara de melón como una alternativa interesante para la remediación de contaminantes.	Elaboración de un biosorbente	- Melón	(Hadjar et al., 2024)
Las cáscaras de berenjena se emplean como materia prima para sintetizar puntos de carbono (CDs) mediante un método hidrotermal, los cuales se incorporan en una matriz de carboximetilcelulosa y gelatina para desarrollar películas de envasado sostenibles y funcionales. La adición de CDs (3 % wt) aumentó la resistencia a la tracción entre un 5,0 y un 16,0%, mejoró la capacidad de bloqueo de radiación UV (94,3 % de UV-B y 72,5 % de UV-A) y confirió una fuerte actividad antioxidante (100% frente a ABTS) y antibacteriana, inhibiendo en un 99,8% el crecimiento de <i>Listeria monocytogenes</i> y <i>Escherichia coli</i> . Al emplear estas películas para envasar uvas de mesa y	Sintetizar de puntos de carbono	- Berenjena	(Khan et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
almacenarlas a 4°C durante 24 días, los frutos mantuvieron una excelente calidad externa y una vida útil prolongada.			
Las cáscaras de plátano se emplean como precursor para la obtención de un catalizador verde mediante calcinación a 600°C durante 4 horas, obteniendo cenizas ricas en compuestos alcalinos. Este catalizador se utiliza en la síntesis de biodiesel, a partir de aceite de semilla de niger, alcanzando un rendimiento del 92,30% bajo condiciones optimizadas (relación metanol:aceite 15:1, carga de catalizador 1% wt, 70°C, 4h). El biodiesel producido cumplió con los estándares internacionales ASTM D, demostrando que la cáscara de plátano constituye un material eficaz, reutilizable y de bajo costo para la producción sostenible de biocombustibles.	Componente para la producción de biodiesel sostenible	- Plátano	(Rajak et al., 2024).
Las cáscaras de naranja se emplean para obtener un extracto rico en compuestos bioactivos, con altas concentraciones de fenoles totales (24,55 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco), ácido ascórbico (129,54 mg/ml) y una actividad antioxidante demostrada por un IC50 de 3,83 mg/ml en el ensayo de inhibición del DPPH. Este extracto se incorpora en ghee (mantequilla clarificada), donde durante 21 días de almacenamiento retrasa la oxidación lipídica, evidenciado por la reducción de los valores de p-anisidina, índice de yodo y ácidos grasos libres, lo que indica su potencial como conservante natural para prolongar la vida útil de alimentos en aplicaciones industriales.	Conservante de alimentos	- Naranja	(Kohli et al., 2024)
Las cáscaras de naranja se emplean como cargas naturales en la preparación de compuestos poliméricos totalmente biobasados, mediante mezcla en fundido con un biopolímero (PBSA) en concentraciones de hasta el 20% en peso. Estas cáscaras, ricas en compuestos fenólicos con actividad antioxidante, confieren al material propiedades antioxidantes y antimicrobianas que estaban ausentes en el polímero original, mientras que la estabilidad térmica se mantiene prácticamente inalterada, observándose un aumento en el módulo elástico y una disminución en la resistencia a la tracción.	Relleno natural en la preparación de compuestos poliméricos biodegradables	- Naranja	(Pagliarini et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de mandarina se emplean como polvo activo en la elaboración de películas para envases alimentarios a base de alginato de sodio, aprovechando su contenido de pectina, lípidos, fibra cruda y compuestos fenólicos que varían según la variedad. Estas películas presentaron propiedades de barrera al agua y oxígeno, resistencia mecánica y capacidad antioxidante y antimicrobiana, especialmente aquellas formuladas con cáscaras de alto contenido de pectina, lípidos y fenoles totales, demostrando un buen desempeño en el retraso de la oxidación del aceite de maíz y un gran potencial para su aplicación en envases activos.	Elaboración de películas activas para embalaje	- Mandarina	(Yun & Liu, 2024)
Las cáscaras de membrillo se emplean como subproducto para la obtención de extractos bioactivos mediante distintos métodos de extracción, destacando el extracto hidroetanólico obtenido por reflujo por su mayor contenido de fenoles (27,23 mg. GAE/g.) y flavonoides (16,5 mg. RE/g.), así como por su actividad antioxidante (IC50 de 204,8 µg/mL en DPPH). Este extracto demostró, en un estudio in vivo con ratas, un efecto cardioprotector al contrarrestar la cardiotoxicidad inducida por doxorubicina, evidenciado por la mejora de parámetros electrocardiográficos, perfil lipídico, enzimas séricas (CK-MB, LDH, AST) y marcadores de estrés oxidativo (MDA, SOD, GSH, CAT), además de la recuperación histológica del tejido cardíaco.	Cardioprotector contra la cardiotoxicidad	- Membrillo	(Hanan et al., 2023)
Las cáscaras de granada se emplean para obtener un extracto hidroetanólico estandarizado, el cual se evalúa en un modelo de ratas con daño cognitivo inducido por escopolamina, demostrando efectos neuroprotectores. La administración del extracto (200–800 mg./kg.) mejoró el rendimiento conductual en las pruebas de laberinto acuático de Morris y de evitación pasiva, incrementó la actividad de superóxido dismutasa y los niveles de tiolos, y redujo la actividad de acetilcolinesterasa y la peroxidación lipídica en el cerebro, efectos atribuidos a la modulación de la vía Nrf2–HO-1.	Suplemento que atenúa los déficits cognitivos y el daño cerebral	- Granada	(Akbarian et al., 2022).

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de granada se emplean para obtener extractos con actividad antitumoral, específicamente la fracción E2 del extracto etanólico de la cáscara (PEPE2), la cual induce apoptosis en células de carcinoma urotelial de vejiga (UBUC). Mediante análisis proteómicos se identificaron proteínas desreguladas relacionadas con apoptosis, proliferación celular, señalización de receptores de muerte, vías JAK/STAT, PPAR, Rho GTPasa y RhoGDI, así como alteraciones en HSP90 y PTPIB en tumores xenograft en ratones, lo que sugiere que la cáscara de granada constituye un recurso potencial para la quimioprevención del cáncer de vejiga.	Mecanismo molecular inhibitorio sobre el carcinoma urotelial de vejiga urinaria	- Granada	(Huang et al., 2022)

**Nota.** En la Tabla 3 se observan los procesos biotecnológicos donde las cáscaras actúan como componentes estructurales, sustratos enzimáticos y precursores de biocombustibles sostenibles.

En la tabla 3 se muestran las aplicaciones de las cáscaras de frutas en el campo de la biotecnología, donde se identifican dos grandes grupos de uso con diferente grado de madurez tecnológica. Por un lado, se observa un conjunto de aplicaciones donde las cáscaras actúan como componentes estructurales o funcionales dentro de sistemas materiales de mayor complejidad. Entre ellas destaca su papel como componente principal en la elaboración de hidrogeles, como relleno natural en compuestos poliméricos biodegradables, como sustrato para la producción de licopeno o como catalizador en la síntesis de biodiesel sostenible. Estas aplicaciones representan una estrategia prometedora para crear productos más sostenibles y eficientes, al tiempo que enfrentan los desafíos ambientales y económicos asociados al uso de materiales convencionales (Del Pilar Casas-martínez et al., 2022). Desde una

perspectiva comparativa, estas investigaciones evidencian una tendencia creciente hacia el diseño de biomateriales multifuncionales y la producción de compuestos de alto valor mediante rutas biotecnológicas, donde la cáscara no solo se incorpora como carga pasiva, sino que participa activamente en las propiedades del producto final. Por otro lado, se identifica un segundo grupo de aplicaciones orientadas al desarrollo de conservantes alimentarios naturales, derivadas de la capacidad antimicrobiana, antioxidante y formadora de barrera que confiere la composición química de las cáscaras, rica en compuestos bioactivos. Este uso resulta particularmente relevante porque ofrece una alternativa sostenible y segura frente a los conservantes sintéticos (Aguilar-Méndez et al., 2020); alineándose con las crecientes demandas regulatorias y de consumo por alimentos más naturales.

**Tabla 4**

*Valorización de residuos agroindustriales*

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de tomate se emplean como residuo agroindustrial rico en carotenoides, especialmente licopeno y $\beta$ -caroteno, los cuales se recuperan mediante extracción asistida por microondas (MAE) en condiciones optimizadas (relación biomasa:solvente 1:10 g:mL, tiempo 60 s, potencia 283,84 W) y se microencapsulan con mezclas de maltodextrina y proteína de suero de leche (MD:WP) para mejorar su estabilidad y bioaccesibilidad (74,55 % de eficiencia de encapsulación). Este proceso permite valorizar los residuos de tomate para su potencial aplicación como ingrediente funcional en alimentos.	Fuente de carotenoides	-Tomate	(Aldana-Heredia et al., 2024).
Las cáscaras de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) y de galgal (cultivares Punjab, Haryana e Himachal) se emplean como materia prima para la extracción de aceites esenciales con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Para la cáscara de naranja, la extracción por Soxhlet con n-hexano a 90 °C durante 270 min. permitió obtener un aceite rico en d-limoneno (41,41 %) con potencial para aplicaciones en envases alimentarios. Por su parte, las cáscaras de galgal se sometieron a diversos métodos de extracción, destacando el método Clevenger por su mayor rendimiento, obteniéndose aceites con variabilidad en compuestos como d-limoneno, $\alpha$ -ocimeno, $\alpha$ -mirceno y $\alpha$ -pineno según la variedad. Ambos aceites esenciales demostraron una buena actividad antioxidante y antibacteriana, constituyendo una estrategia efectiva para la valorización de residuos de la industria frutícola como sustitutos de conservantes químicos.	Extracción de aceite esencial (CEO)	- Naranja - Galgal	(Amanullah et al., 2024) y (Grover et al., 2023)
Las cáscaras de rambután se emplean como fuente de antocianinas para desarrollar un agente colorante rojo, tratado con vapor de aceite de cardamomo (CM) a una concentración óptima de 25 $\mu$ L, lo que mejora la estabilidad del color y confiere actividad antimicrobiana. Este tratamiento logró reducir aproximadamente 4 log <sub>10</sub> cfu g <sup>-1</sup> de <i>Staphylococcus aureus</i> por alteración de la integridad de la membrana celular. El polvo obtenido se utilizó como colorante alimentario en pasta de camarón, evitando el	Componente de un nuevo agente colorante rojo	- Rambután	(Chaidech & Matan, 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
oscurecimiento, manteniendo la luminosidad y tonalidad roja, inhibiendo bacterias patógenas y prolongando la vida útil del producto a 14 días, en comparación con los 7 días del control.			
Las cáscaras de plátano verde ( <i>Musa AAB cv. Nendran</i> ) se emplean como fuente de un consorcio de glucocerebrósidos (GC), del cual se identificaron dieciocho (18) especies moleculares mediante espectrometría de masas de alta resolución. Este consorcio demostró, en un modelo de macrófagos murinos RAW 264.7, una reducción significativa de la producción de óxido nítrico inducido por lipopolisacáridos, modulación de citocinas proinflamatorias y antiinflamatorias, y una potente inhibición de la $\alpha$ -glucosidasa con un IC50 de 5,12 $\mu\text{g/mL}$ , muy inferior al de acarbosa (87,32 $\mu\text{g/mL}$ ), destacando su potencial terapéutico como agente antiinflamatorio y antidiabético.	Fuente de compuestos fenólicos y glucocerebrósidos	- Plátano	(Raveena et al., 2024)
Las cáscaras de naranja se emplean para obtener un extracto (OPE) rico en compuestos fenólicos con actividad antioxidante y eficacia antibacteriana frente a bacterias patógenas, especialmente <i>Escherichia coli</i> marina, presentando efectos sinérgicos con amikacina. Este extracto se utiliza para fortificar yogur, incrementando su contenido de proteínas, grasas y cenizas, así como su actividad antioxidante y potencial anticancerígeno contra células HCT116. Esto demuestra su versatilidad como recurso natural para el desarrollo de alimentos funcionales.	Componente con alto valor agregado	- Naranja	(Zaki et al., 2024).
Las cáscaras de limón se emplean como fuente de diosmetina, un bioflavonoide con actividades anticancerígena, antibacteriana, antioxidante y antiinflamatoria, cuyo extracto selectivo se logra mediante el uso de polímeros magnéticos de impresión molecular superficial (Diosmetin/SMIPs). Estos polímeros, sintetizados con nanopartículas magnéticas, como soporte, y 4-vinilpiridina, como monómero funcional, presentaron una capacidad de absorción de 20,25 $\text{mg. g}^{-1}$ , un factor de impresión de 2,28 y recuperaciones del 91,20% al 94,16% en muestras de cáscara de limón, demostrando una alta especificidad, capacidad de reutilización y eficiencia para la extracción dirigida de diosmetina.	Fuente de diosmetina	- Limón	(Xie et al., 2025)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
Las cáscaras de tuna ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) se emplean como fuente de compuestos antioxidantes, cuya recuperación se mejora significativamente mediante técnicas de extracción asistida por presión (PLE) y extracción asistida por ultrasonido (UAE), permitiendo estrategias de extracción más sostenibles y eficientes.	Extracción de compuestos antioxidantes	- Tuna	(Parí et al., 2024)
Las cáscaras de pitahaya roja se emplean como fuente de betacianina, un pigmento natural de color rojo-violeta, que se extrae mediante calentamiento óhmico para evitar la degradación térmica del compuesto. El proceso utiliza solventes como NaCl al 0,2 % para aumentar la conductividad eléctrica y reducir el tiempo de calentamiento, logrando una extracción eficiente del pigmento termolábil, el cual puede utilizarse como colorante natural en la industria alimentaria.	Extracción de betacianina	- Pitahaya	(Nurbaya et al., 2024)
Las cáscaras de naranja se emplean para obtener un extracto (OPE) que se incorpora en matrices de polipropileno y ácido poliláctico para desarrollar envases activos, otorgando propiedades antioxidantes y afectando las propiedades mecánicas, ópticas y de sellado de las películas obtenidas por extrusión. Por su parte, las cáscaras de bligo ( <i>Benincasa hispida</i> ) se utilizan para obtener extractos con agua, etanol, metanol y n-hexano (mediante maceración), los cuales presentan actividad antibacteriana frente a <i>Salmonella typhi</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> con halos de inhibición de hasta 1,70 mm. y 1,28 mm. respectivamente a concentraciones del 30%, aunque dicha actividad se clasifica como débil y no logra inhibir <i>Bacillus cereus</i> ni <i>Escherichia coli</i> .	Compuestos bioactivos	- Naranja - Bligo	(Tone et al., 2024) y (Zakirah et al., 2024)
Las cáscaras de piña se emplean para obtener extractos mediante extracción asistida por ultrasonido, los cuales se combinan con bacterias lácticas precondicionadas con termosonicación en la elaboración de yogur. Esta combinación (grupo UU) inhibe la posacidificación durante el almacenamiento refrigerado por 14 días, retrasa el metabolismo de la lactosa, incrementa el contenido de fenoles totales (98 µg/mL, 1,78 veces superior al control) y mejora la actividad antioxidante (menor IC50 en DPPH y ABTS). Todo lo anterior se da sin afectar significativamente la viscosidad, dureza, color ni las propiedades probióticas y sensoriales del producto.	Componente para el Yogurt	- Piña	(X. Zhang et al., 2024)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de plátano se emplean como componente en la elaboración de fertilizantes multicomponente junto con posos de café y cáscaras de huevo, con el fin de promover el crecimiento de plantas de <i>Phaseolus vulgaris</i>. Se prepararon dos tipos de fertilizantes: una mezcla seca y otra, húmeda obtenida por ebullición de la mezcla seca en agua durante 15 minutos. Esta última demuestra mayor eficiencia al lograr una mayor tasa de crecimiento y altura en las plantas, lo que contribuye a la valorización de residuos de cocina para la agricultura sostenible.</p>	<p>Componente de un fertilizante orgánico</p>	<p>- Plátano</p>	<p>(Aboelkheir et al., 2024)</p>
<p>Las cáscaras de maracuyá se emplean para obtener un extracto fermentado (PFPFE) que, en modelos murinos, aumenta la motilidad gastrointestinal y el contenido de humedad fecal, protege la integridad del tejido de colon, reduce la infiltración inflamatoria y alivia el enrojecimiento y la hemorragia perirrectal asociados a hemorroides. Al mismo tiempo que disminuye los niveles de factores inflamatorios como TNF-<math>\alpha</math>, IL-6 e IL-1<math>\beta</math>. Este extracto actúa modulando la secreción de hormonas gastrointestinales (ET-1, GAS, MTL, SP, SS y VIP) y regulando negativamente las vías ESRI y PI3K/Akt, lo que proporciona una base científica para su desarrollo como alimento funcional destinado a aliviar el estreñimiento y las hemorroides.</p>	<p>Tratamiento para el estreñimiento y las hemorroides</p>	<p>- Maracuyá</p>	<p>(Xu et al., 2024).</p>
<p>Las cáscaras de pomelo se emplean como precursor para sintetizar puntos de carbono (PCDs) mediante un método hidrotermal, los cuales poseen una fuerte actividad antioxidante y antimicrobiana. Estos PCDs se incorporan en una matriz biopolimérica de gelatina de escamas de pescado y dialdehído de alginato (FSG/ADA) para desarrollar películas compuestas multifuncionales y ecológicas. Con un contenido del 3% en peso de PCDs, la película resultante alcanzó una capacidad antioxidante del 91,71% para DPPH y aproximadamente del 100% para ABTS, mostró una excelente actividad antimicrobiana frente a bacterias y hongos. Así, logró prolongar la vida útil de las fresas hasta 7 días a temperatura ambiente, demostrando su potencial como envase activo sostenible.</p>	<p>Síntesis de puntos cuánticos de carbono para integrarse en una película biopolimérica</p>	<p>- Pomelo</p>	<p>(Li et al., 2023)</p>

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de granada se emplean para obtener extractos con alta actividad antioxidante y antiproliferativa, diferenciándose entre granada cultivada y silvestre. El extracto de cáscara de granada silvestre presentó el mayor contenido de fenoles totales (340,92 mg. equivalentes de ácido gálico/g.), la mayor actividad antioxidante frente a los radicales DPPH y ABTS, y la mayor capacidad de inhibición del crecimiento de líneas celulares tumorales. Por su parte, el extracto de cáscara de granada cultivada mostró el mayor contenido de flavonoides totales (31,84 mg. equivalentes de quercetina/g.), mientras que tanto la cáscara cultivada como la membrana presentaron la mayor inhibición de radicales hidroxilos (41,24 y 41,23 µg/mL respectivamente).</p>	<p>Extracción de Fenoles y Flavonoides</p>	<p>- Granada</p>	<p>(Milošević et al., 2023).</p>
<p>Las cáscaras de ponkan (<i>Citrus reticulata</i> Blanco, cv. Ponkan) se emplean como subproducto para extraer fibra dietética soluble (SDF) e insoluble (IDF), las cuales son modificadas mediante tratamiento físico-enzimático para mejorar sus propiedades fermentativas. Tanto la fibra soluble modificada (MSDF) como la insoluble modificada (MIDF) disminuyeron significativamente el pH, aumentaron la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y modificaron la composición del microbiota intestinal humana, incrementando la abundancia de <i>Bacteroidetes</i> y reduciendo la relación Firmicutes/<i>Bacteroidetes</i>, con efectos más pronunciados en la MSDF. Estos resultados demuestran que las fibras modificadas de cáscara de ponkan constituyen una fuente fermentable aprovechable por bacterias intestinales específicas.</p>	<p>Fuente de fibra fermentable</p>	<p>- Ponkan</p>	<p>(P. Gao et al., 2023)</p>
<p>Las cáscaras de pera se emplean como materia prima de bajo costo para la producción de edulcorantes bajos en calorías, mediante una estrategia biotecnológica de dos etapas. En la primera etapa, se utiliza cetosa 3-epimerasa para convertir la D-fructosa presente en las cáscaras en D-alulosa (29,4% de conversión). En la segunda etapa, el remanente de D-fructosa se transforma en D-manitol mediante una cepa modificada que coexpresa manitol 2-deshidrogenasa y formiato deshidrogenasa, alcanzando una tasa de conversión del 93,5 %. A partir de 1 kg. de cáscara fresca de pera se obtienen 10,8 g. de D-alulosa y 24,6 g. de D-manitol.</p>	<p>Bioproducción de D-alulosa y D-manitol</p>	<p>- Pera</p>	<p>(J. Li et al., 2022)</p>

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de membrillo se emplean como subproducto para obtener ingredientes ricos en fibra (20,2 g./100 g.), fructosa (34 g./100 g.), ácido málico (7,2 g./100 g.) y potasio (692 mg./100 g.), así como extractos con compuestos fenólicos (predominantemente flavan-3-oles) mediante maceración hidroetanólica dinámica y extracción con agua caliente. El extracto hidroetanólico demostró la mayor capacidad para inhibir la peroxidación lipídica y la hemólisis oxidativa, así como una mejor actividad antimicrobiana frente a patógenos alimentarios, superando a algunos aditivos sintéticos de control, mientras que los residuos sólidos posteriores a la extracción contienen entre 35 y 37 g./100 g. de fibra.</p>	<p>Ingredientes bioactivos ricos en fibra para enriquecer la cadena de valor con fortificantes alimentarios naturales, conservantes y promotores de la salud</p>	<p>- Membrillo</p>	<p>(Othman et al., 2022)</p>
<p>Las cáscaras de pitahaya roja se emplean como fuente de antocianinas, las cuales se incorporan en películas de almidón de yuca y quitosano, mediante el método de colado con solvente, para desarrollar envases inteligentes que actúan como indicadores de color. La adición de antocianinas incrementó la actividad antioxidante hasta un 94,44%, mejoró la flexibilidad de la película (menor resistencia a la tracción y mayor elongación a la rotura) y confirió sensibilidad al pH, manifestada por un cambio de color de rojo a amarillo al aumentar la acidez. Esta película demostró su capacidad para monitorear la frescura de camarones tanto a temperatura ambiente como en refrigeración, evidenciando su potencial como material de envasado inteligente.</p>	<p>Ingrediente de una película indicadora del estado de los alimentos</p>	<p>- Pitahaya</p>	<p>(Pramitasari et al., 2022)</p>
<p>Las cáscaras de naranja se emplean como biosorbente de bajo costo para la eliminación de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 en condiciones in vitro. El proceso alcanzó una remoción máxima del 90% utilizando 10 mg. de biosorbente por mL, concentración inicial de aflatoxinas de 100 ng/mL, pH 3, tiempo de incubación de 45 minutos y temperatura de 37 °C. La absorción se ajustó al modelo de isoterma de Langmuir, con capacidades de cobertura monomolecular (<math>Q_e</math>) entre 75,6 y 79,2 ng./mg., según la toxina, y obedeció a una cinética de pseudo-segundo orden de carácter endotérmico. La eficacia del proceso se mantuvo bajo variaciones de pH similares a las del tracto gastrointestinal, lo que posiciona al polvo de cáscara de naranja como un método eficiente y de bajo costo para la desintoxicación en humanos y animales.</p>	<p>Elemento de bioadsorción de aflatoxinas</p>	<p>- Naranja</p>	

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de granada se emplean para obtener extractos etanólicos (PPE) que mejoran las propiedades gelificantes y texturales del surimi de carpa plateada, siendo el extracto con etanol al 100% el que presentó el mayor contenido de fenoles, taninos y flavonoides. La adición de PPE al 0,45% incrementó el número de enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas, redujo los grupos sulfhidrilo y amino primarios, y generó la mayor fuerza de gel, junto con una red de gel más ordenada, fina y densa según microscopía electrónica de barrido, lo que se tradujo en una mayor fuerza de rotura, dureza y capacidad de retención de agua, demostrando el potencial de los residuos de frutas para mejorar la calidad del surimi con beneficios adicionales para la salud.</p>	Tratamiento de gelificantes de surimi	- Granada	(Sharma et al., 2022)
<p>Las cáscaras de granada se emplean para aislar y purificar compuestos fenólicos, específicamente punicalina y ácido elágico, mediante extracción con solventes e identificación por HPLC/MS. Estos compuestos demostraron un efecto citotóxico dependiente de la concentración y el tiempo de exposición sobre las líneas celulares Hela y NIH-3T3, induciendo apoptosis y regulando la expresión de proteínas relacionadas con la vía apoptótica, lo que sugiere su potencial en la prevención y tratamiento del cáncer.</p>	Extracción de punicalina y ácido elágico	- Granada	(Gonzalez-Castillo et al., 2021)
<p>Las cáscaras de jabuticaba se emplean para obtener extractos ricos en compuestos polifenólicos (flavonoides, antocianinas como cianidina-3-O-glucósido y delphinidina-3-O-glucósido, y ácido gálico) mediante extracción con agua caliente a presión (PHWE), un método de baja disipación. Estos extractos se incorporan en vesículas fosfolipídicas ultradeformables (transferosomas) modificadas con hidroxietilcelulosa o hialuronato de sodio, logrando formulaciones con mayor estabilidad y capacidad para contrarrestar el estrés oxidativo inducido por peróxido de hidrógeno y acelerar la cicatrización en monocapas celulares, lo que las posiciona como una estrategia prometedora para el desarrollo de productos cosméticos y cosmeceúticos con beneficios para la piel.</p>	Extracción de antocianinas y elagitaninos	- Jacuticaba	(Castangia et al., 2021)

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de mango se emplean en forma de polvo como suplemento nutricional para el manejo del estrés oxidativo y la dislipidemia en personas con sobrepeso. En un estudio con mujeres de 25 a 45 años (IMC 25,0–29,9) que consumieron 1 g. diario de polvo de cáscara de mango durante 84 días, se observó una disminución significativa de los niveles de colesterol LDL, colesterol total, triglicéridos, urea y creatinina, junto con un aumento del colesterol HDL y una mejora del estatus antioxidante (reducción de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico), lo que demuestra su potencial para contrarrestar el estrés oxidativo y los trastornos lipídicos asociados a la obesidad.</p>	<p>Función terapéutica en el tratamiento de la dislipidemia y el estrés oxidativo en mujeres obesas</p>	<p>- Mango</p>	<p>(Arshad et al., 2021)</p>
<p>Las cáscaras de kiwi (<i>Actinidia chinensis</i>) se emplean para obtener un extracto hidroalcohólico con actividad gastroprotectora, demostrada en un modelo de ratas con úlcera gástrica inducida por indometacina. La administración del extracto de cáscara (KP) redujo significativamente el volumen gástrico, el índice de úlcera (con un porcentaje de protección del 66,08 %), aumentó el contenido de moco gástrico y mejoró los niveles de antioxidantes (glutatión reducido y superóxido dismutasa) tanto en sangre como en tejido estomacal, al tiempo que disminuyó la peroxidación lipídica (MDA). Histopatológicamente, la cáscara mostró una reducción del daño gástrico superior a la de la pulpa, y su combinación con <i>Spirulina platensis</i> (SFP) potenció aún más los efectos protectores, superando en algunos parámetros al fármaco de referencia lansoprazol.</p>	<p>Tratamiento de úlceras gástricas en ratas</p>	<p>- Kiwi</p>	<p>(Aleid et al., 2021)</p>
<p>Las cáscaras de mango se emplean en la síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando el extracto acuoso de cáscara, como agente reductor y estabilizante, y obteniendo partículas de forma irregular (varillas y esferas) con tamaños entre 25 y 75 nm. La concentración óptima de extracto fue de 0,20 g/mL, con el cual se produjeron AgNPs que mostraron una mayor actividad antibacteriana frente a <i>Staphylococcus aureus</i> (IC50 de 1,557 mg/L) que frente a <i>Escherichia coli</i> (IC50 de 2,335 mg/L). Este enfoque aprovecha los subproductos del mango postcosecha y ofrece potencial para el desarrollo de materiales antibacterianos compuestos destinados a la conservación de frutas y verduras.</p>	<p>Síntesis verde de nanopartículas de plata</p>	<p>- Mango</p>	<p>(Xing et al., 2021)</p>

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
<p>Las cáscaras de granada se emplean para obtener extractos con diferentes solventes, los cuales presentan perfiles de compuestos fenólicos variables que determinan su actividad biológica sobre células leucémicas THP-1. El extracto acuoso mostró el mayor contenido de punicalaginas (<math>\alpha</math> y <math>\beta</math>) y el menor de ácido elágico, induciendo un arresto significativo en la fase S del ciclo celular. La fracción enriquecida en punicalaginas, pero no la de ácido elágico, fue la responsable de dicho arresto, mientras que la combinación de ambas fracciones incrementó la apoptosis, evidenciada por el aumento de células con ADN fragmentado, la activación de PARP1 escindido y la reducción de la vía mTOR. Estos resultados destacan que la elección del solvente es crítica para definir el perfil fenólico y la actividad biológica de los extractos de cáscara de granada.</p>	<p>Extracción de punicalina y ácido elágico, y su capacidad para detener el ciclo celular e inducir la apoptosis (muerte celular programada) en células de leucemia humana</p>	<p>- Granada</p>	<p>(Tamborlin et al., 2020)</p>
<p>Las cáscaras de limón se emplean como materia prima para fabricar oligosacáridos derivados de pectina (POS), los cuales se evalúan como prebióticos dirigidos al microbiota intestinal de personas mayores utilizando el modelo de colon in vitro TIM-2. La fermentación de POS generó incrementos superiores de especies beneficiosas como <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> y mayor diversidad alfa en comparación con los fructooligosacáridos (FOS) comerciales, además de producir la mayor acumulación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y la menor de ácidos grasos de cadena ramificada (AGCR). Estos resultados respaldan el potencial de los POS derivados de cáscara de limón, como candidatos prebióticos para la salud intestinal en la población adulta mayor.</p>	<p>Producción de oligosacáridos derivados de pectina y su potencial uso como prebióticos</p>	<p>- Limón</p>	<p>(Miguez et al., 2020)</p>
<p>Las cáscaras de sudachi (<i>Citrus sudachi</i>) se emplean para obtener un extracto acuoso rico en compuestos fenólicos que suprime la proliferación de queratinocitos epidérmicos humanos (línea HaCaT y queratinocitos primarios), inhibe la activación del receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR) inducida por EGF y la activación de ERK1/2 inducida por factor de necrosis tumoral alfa (<math>\text{TNF-}\alpha</math>). Así, también, potencia la diferenciación de queratinocitos inducida por calcio. Estas propiedades sugieren que el extracto de cáscara de sudachi podría tener efectos beneficiosos en enfermedades cutáneas caracterizadas por hiperproliferación de</p>	<p>Producción de extracto acuoso y su facultad para frenar la proliferación excesiva de queratinocitos y su potencial capacidad para enfermedades de la piel.</p>	<p>- Sudachi</p>	<p>(Abe et al., 2020)</p>

Resumen	Forma de uso	Fruta	Autores
queratinocitos, como la psoriasis y el carcinoma escamocelular cutáneo.			
Las cáscaras de mandarina (variedad Murcott) se emplean para obtener extractos etanólicos al 80% que, mediante fraccionamiento y análisis por HPLC-PDA-ESI-MS/MS, permitieron la caracterización tentativa de 98 compuestos, incluyendo ácidos orgánicos, derivados de ácidos fenólicos, flavonoides (agliconas y glucósidos), cumarinas y limonoides, con el aislamiento de seis metabolitos como nobiletina, isosinensetina, limonina, 4'-desmetilnobiletina, estigmasterol-O-glucósido y hesperidina. Aunque en este estudio la fracción de diclorometano obtenida de las hojas mostró actividad antiinflamatoria y gastroprotectora, el análisis metabolómico de la cáscara aporta un valioso perfil fitoquímico que respalda su potencial aprovechamiento como subproducto rico en compuestos bioactivos.	Análisis del perfil metabólico, aislamiento de flavonoides y limonoides, y su comparación con el tallo y las hojas	- Mandarina	(Hamdan et al., 2020)

**Nota.** En la Tabla 4 se observan las rutas de valorización agroindustrial para la obtención de compuestos bioactivos, aceites esenciales y componentes funcionales de interés comercial.

En la tabla 4 se presenta la valorización de residuos agroindustriales provenientes de cáscaras de frutas, donde las aplicaciones pueden agruparse en tres categorías con distinto nivel de desarrollo y complejidad tecnológica. La primera categoría corresponde al aprovechamiento de las cáscaras como fuente de compuestos de alto valor, entre los que se incluyen carotenoides, almidón, celulosa, compuestos fenólicos, glucocerebrósidos y diosmetina. Esta línea de aplicación se sustenta en la creciente conciencia sobre la necesidad de utilizar los recursos naturales de manera sostenible, así como en los avances en tecnologías de extracción y caracterización que permiten acceder a estos compuestos con mayor eficiencia y selectividad (Ochoa, 2017). Comparativamente, este enfoque

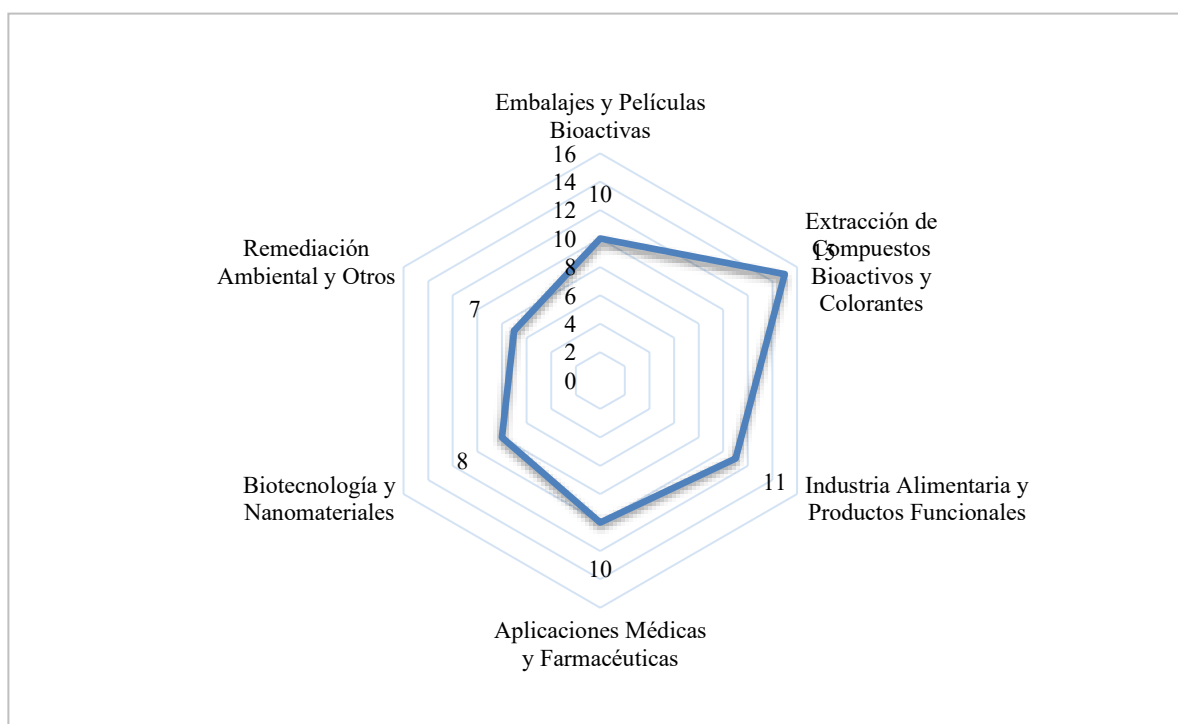
representa la vía más consolidada de valorización, aunque su viabilidad industrial depende de lograr procesos de extracción escalables y económicamente competitivos frente a fuentes convencionales. Una segunda categoría agrupa aplicaciones donde las cáscaras se incorporan como componentes funcionales en productos de otras industrias, como agentes colorantes, ingredientes para yogur o componentes de fertilizantes orgánicos. Este tipo de aprovechamiento evidencia la versatilidad de las cáscaras y la capacidad de científicos y tecnólogos de alimentos para identificar nuevas aplicaciones más allá del sector alimentario tradicional (Vargas et al., 2019). La tercera categoría comprende la extracción de aceites esenciales, compuestos antioxidantes y betacianinas, procesos que se justifican

por la alta concentración natural de estos compuestos en las cáscaras y su amplio espectro de aplicaciones en industrias como la alimentaria, cosmética y farmacéutica (Ordoñez-

Gómez et al., 2018). Este grupo destaca por el creciente interés en colorantes y conservantes naturales como respuesta a las demandas del mercado por productos más limpios y sostenibles.

**Figura 3**

*Aplicaciones de las cáscaras en la Agroindustria*



**Nota.** En la Figura 03 se observa las diferentes aplicaciones de las cáscaras de frutas dentro de la Agroindustria.

La alta incidencia, observada en la figura anterior, de la Extracción de Compuestos Bioactivos (15 menciones) en los resultados se sustenta en la eficiencia de métodos como el calentamiento óhmico y la extracción asistida por ultrasonido, los cuales permiten recuperar pigmentos termolábiles de cáscaras de pitahaya sin degradar su capacidad antioxidante. Este enfoque coincide con lo reportado por Aldana-Heredia et al. (2024), quienes demuestran que la optimización de parámetros de extracción (como

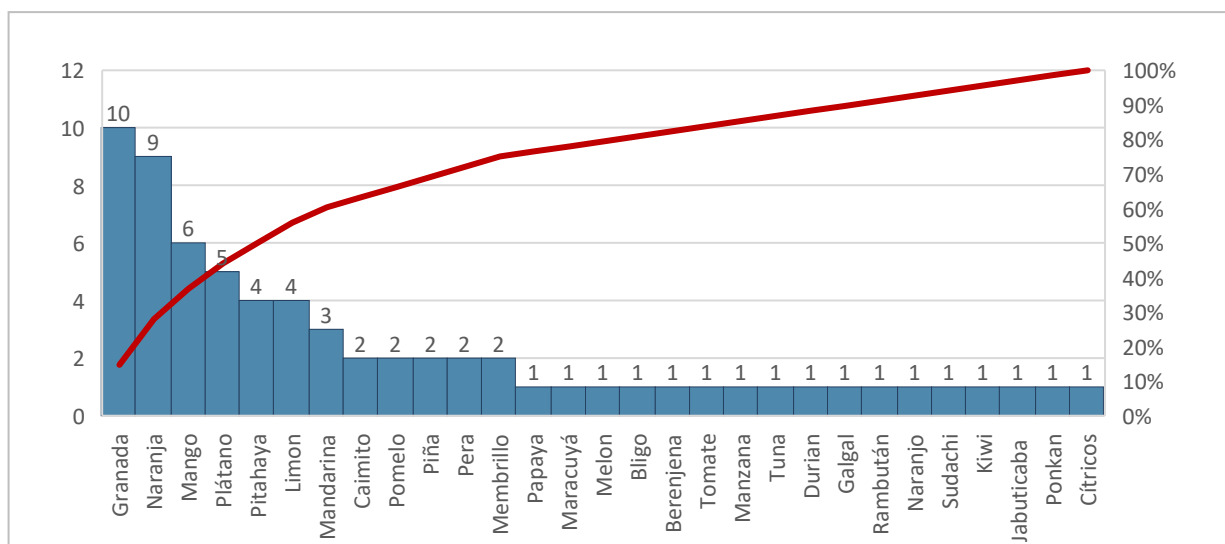
potencia y tiempo) es clave para transformar residuos industriales de tomate en ingredientes funcionales de alto valor. En cuanto a la Industria Alimentaria y Productos Funcionales (11 menciones), los resultados muestran una transición desde el uso de cáscaras como simples rellenos hacia su función como sustitutos tecnológicos. Por ejemplo, mientras que Ahsan et al. (2024) proponen la pectina de cáscara de plátano como un sustituto de grasa eficaz en muffins para reducir el

contenido lipídico, Giri et al. (2024) comparan el polvo de cáscara de granada con conservantes químicos, demostrando que su capacidad antifúngica es competitiva frente al sorbato de potasio. Finalmente, el área de Aplicaciones Médicas y Farmacéuticas (10 menciones) resalta por el descubrimiento de compuestos con potencial terapéutico específico. Los hallazgos se alinean con los de Raveena

et al. (2024), quienes identificaron, por primera vez, glucocerebrósidos en cáscara de plátano verde con una capacidad de inhibición de la  $\alpha$ -glucosidasa superior a fármacos convencionales como la acarbosa. Esta versatilidad refuerza la idea de que los residuos agroindustriales no solo contribuyen a la economía circular, sino que son precursores de soluciones biomédicas avanzadas.

**Figura 4**

*Frutas más utilizadas en experimentos de investigación que han empleado cáscaras de frutas como material*



En la Figura 4 se observa que la granada es la fruta con mayor frecuencia de uso experimental, registrando un total de 10 menciones. Esta tendencia se explica por su excepcional perfil de compuestos bioactivos, los cuales han demostrado ser eficaces tanto en el desarrollo de películas antimicrobianas como en el tratamiento de déficits cognitivos en modelos animales (Akbarian et al., 2022). Por otra parte, la naranja ocupa el segundo lugar con 9 menciones, destacándose principalmente por la viabilidad técnica

de su cáscara en la producción de envases comestibles para prolongar la vida útil de productos perecederos (Rahma et al., 2024). En la siguiente posición, el mango registra 6 menciones, utilizándose mayoritariamente como estabilizante en emulsiones y para la extracción de pectina de alta calidad destinada a mermeladas y jaleas (Gemechu et al., 2024; Marsiglia-Fuentes et al., 2024). El plátano, con 5 menciones, se posiciona como una materia prima versátil tanto para la síntesis de

biocatalizadores en la producción de biodiesel como para su uso como sustituto de grasa en la industria de panificación (Rajak et al., 2024). Finalmente, la pitahaya y el limón (4 menciones cada una) son valoradas por la obtención de betacianina y diosmetina mediante procesos tecnológicos

#### 4. CONCLUSIONES

A partir de la revisión sistemática de 65 artículos científicos indexados en Scopus, se concluye que la revalorización de las cáscaras de frutas en la agroindustria ha evolucionado desde el uso de rellenos simples hacia la obtención de bioproductos de alto valor funcional. Los resultados cuantitativos identifican que las aplicaciones más frecuentes son la extracción de compuestos bioactivos (15 menciones), el desarrollo de productos funcionales (11 menciones) y, de manera emergente, las aplicaciones médicas/farmacéuticas y los embalajes activos. Estos últimos poseen 10 menciones cada uno. Respecto a las materias primas, la granada (10 menciones) y la naranja (9 menciones) se consolidan como los materiales experimentales predominantes, debido a su densidad fitonutricional y disponibilidad biomásica.

El estudio permite clasificar el aprovechamiento de estos residuos en tres campos estratégicos: la valorización de residuos agroindustriales (48%), la biotecnología (29%) y la ciencia y tecnología de alimentos (23%). Esta distribución evidencia que la tendencia actual se inclina hacia la "minería de biopolímeros", donde la cáscara actúa

avanzados, como el calentamiento óhmico o el uso de polímeros magnéticos (Nurbaya et al., 2024; Xie et al., 2025). Esta distribución de frecuencias evidencia que la investigación global prioriza aquellas cáscaras que ofrecen una mayor versatilidad y abundancia como residuos agrícolas (Jurado-Eraza et al., 2023).

como un precursor activo para la síntesis verde de nanomateriales y catalizadores sostenibles. Esta integración tecnológica no solo minimiza el impacto ambiental, sino que fortalece la resiliencia del sector agroindustrial bajo un enfoque de economía circular y recirculación de recursos en el mismo ámbito.

Finalmente, se identifican vacíos críticos en la literatura, especialmente en la baja representatividad de frutas regionales como el kiwi, la tuna o la jabuticaba, lo que representa una oportunidad para futuras investigaciones en biodiversidad local. Asimismo, es imperativo que los próximos estudios trasciendan la escala de laboratorio y se enfoquen en la escalabilidad industrial y el análisis de viabilidad económica de estos procesos. Se recomienda profundizar en la estandarización de métodos de extracción emergentes para garantizar la estabilidad de los compuestos obtenidos y asegurar su adopción masiva en mercados competitivos y sostenibles.

#### 5. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

**6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abe, S., Ueno, M., Nishitani, M., Akamatsu, T., Sato, T., Shimoda, M., Kanaoka, H., Nii, Y., Yamasaki, H., & Yuasa, K. (2020). *Citrus sudachi Peel Extract Suppresses Cell Proliferation and Promotes the Differentiation of Keratinocytes through Inhibition of the EGFR-ERK Signaling Pathway*. *Biomolecules* 2020, Vol. 10, Page 1468, 10(10), 1468. <https://doi.org/10.3390/biom10101468>
- Aboelkheir, M. G., Filho, N. F., & Gomes, F. (2024). *Unveiling the Potential of Coffee Grounds, Banana Peels and Egg Shells as an Eco-Friendly and Sustainable Fertilizer*. *Macromolecular Symposia*, 413(2), 2300135. <https://doi.org/10.1002/masy.202300135>
- Aguilar-Méndez, M. A., Aguilar-Méndez, M. A., Campos-Arias, M. P., Quiroz-Reyes, C. N., Ronquillo-de Jesús, E., & Cruz-Hernández, M. A. (2020). *Cáscaras de frutas como fuentes de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas*. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 52(1), 360–371. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185386652020000100028&lng=es&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185386652020000100028&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Ahsan, M., Ashraf, H., Iahisham-Ul-Haq, Liaquat, A., Nayik, G. A., Ramniwas, S., Alfarraj, S., Ansari, M. J., & Gere, A. (2024). *Exploring pectin from ripe and unripe Banana Peel: A novel functional fat replacers in muffins*. *Food Chemistry: X*, 23(4), 101539. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101539>
- Akbarian, M., Hosseini, M., Mirzavi, F., Amirahmadi, S., Arab, F. L., & Rajabian, A. (2022). *Punica granatum peel supplementation attenuates cognitive deficits and brain injury in rat by targeting the Nrf2-HO-1 pathway*. *Food Science & Nutrition*, 11(1), 168–180. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3049>
- Aldana-Heredia, J. F., Hernández-Carrión, M., Gómez-Franco, J. D., Narváez-Cuenca, C. E., & Sánchez-Camargo, A. del P. (2024). *Microwave-assisted extraction, encapsulation, and bioaccessibility of carotenoids from organic tomato industry by-product*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 95, 103706. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103706>
- Aleid, I. S., Alfheaid, H. A., Aljutaily, T., Alhomaid, R. M., Alharbi, H. F., Althwab, S. A., Abdel-Rahman, H. A., Algeffari, M. A., & Barakat, H. (2021). *Gastroprotective Effects of Spirulina platensis, Golden Kiwifruit Flesh, and Golden Kiwifruit Peel Extracts Individually or in Combination against Indomethacin-Induced Gastric Ulcer in Rats*. *Nutrients*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/nu13103499>
- Alfarhan, A., Rajagopal, R., & Ponnuswamy, V. (2024). *Valorization of Unripe Banana Peel (Robusta) Powder for the Production of Tannase Using Bacillus xiamenensis in Submerged Fermentation*. *BioResources*, 19(3), 5396–5412. <https://doi.org/10.15376/biores.19.3.5396-5412>
- Amanullah, M. F., Rasamani, P., & Sukumar, M. (2024). *Process kinetics optimization for extraction of essential oil from the peel of Citrus sinensis for the development of food packaging film*. *Journal of Food Process Engineering*, 47(4), e14613. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14613>
- Apriliani, N., Laila, L., & Prasetyo, B. E. (2024). *Utilization Red Dragon Fruit Peel (Hylocereus Polyrhizus) Ethanol Extract in*

- Oral Thin Film Strip As a Mouth Freshener. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 16(3), 304–311. <https://doi.org/10.22159/ijap.2024v16i3.50043>
- Ariwaado, C. A., & Olaniyan, O. F. (2024). Fleshy fruit waste and the green chemistry of its conversion to valuable products for humans and animals. *Food Chemistry Advances*, 4, 100634. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100634>
- Arshad, F., Umbreen, H., Aslam, I., Hameed, A., Aftab, K., Al-Qahtani, W. H., Aslam, N., & Noreen, R. (2021). Therapeutic Role of Mango Peels in Management of Dyslipidemia and Oxidative Stress in Obese Females. *BioMed Research International*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/3094571>
- Castangia, I., Manca, M. L., Allaw, M., Hellström, J., Granato, D., & Manconi, M. (2021). Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) Peel as a Sustainable Source of Anthocyanins and Ellagitannins Delivered by Phospholipid Vesicles for Alleviating Oxidative Stress in Human Keratinocytes. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 6697, 26(21), 6697. <https://doi.org/10.3390/molecules26216697>
- Chaidech, P., & Matan, N. (2024). Antimicrobial activity of rambutan peel colouring agent containing cardamom oil in shrimp paste and its potential mode of action. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 4030–4040. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17159>
- Chen, Z., Liu, R., Wei, Y., Li, B., Luo, W., Zhu, X., & Huang, C. (2024). A novel strategy to transform mango peel waste into useful product– Preparing antibacterial film containing tea polyphenols for chicken breast preservation. *LWT*, 197, 115933. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115933>
- Chim-Chi, Y. A., Fernández-Méndez, A. R., Pérez-Pacheco, E., Canto-Pinto, J. C., Estrada-León, R. J., Ortiz-Fernández, A., Ríos-Soberanis, C. R., Dzul-Cervantes, M. A. A., & Pérez-Padilla, Y. (2024). Development of pH indicator smart packaging films with anthocyanins from the purple star apple shell (*Chrysophyllum cainito* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization* 2024 18:4, 18(4), 2651–2660. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02344-2>
- De Jaramillo, E. H. (2018). Bioeconomía: el futuro sostenible. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164), 188–201. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.650>
- Del Pilar Casas-martínez, Y., Tatiana Fuquen-fúquene, L., Lorena Ramírez-torres, D., & Marcela Gómez-rodríguez, A. (2022). Avances en Biotecnología Ambiental: Biorremediación de Plásticos. 13+, *Investigación, Innovación, Ingeniería*, 4(2). <https://doi.org/10.24267/23462329.939>
- Ferreiro, O., Martin, L. A., Chacon, W. D. C., Duarte, S., Perilla, J. E., & Ayala Valencia, G. (2024). Valorization of Agro-Industrial Plantain (*Musa × paradisiaca*) By-Products: Alternative Sources of Carbohydrates and Bioactive Compounds. *Starch - Stärke*, 76(5–6), 2300210. <https://doi.org/10.1002/star.202300210>
- Firdaus, S., Ahmad, F., & Zaidi, S. (2024). Preparation and characterization of biodegradable food packaging films using lemon peel pectin and chitosan incorporated with neem leaf extract

- and its application on apricot fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 130358. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130358>
- Gao, K., Liu, T., Zhang, Q., Wang, Y., Song, X., Luo, X., Ruan, R., Deng, L., Cui, X., & Liu, Y. (2024). Stabilization of emulsions prepared by ball milling and cellulase treated pomelo peel insoluble dietary fiber: Integrity of porous fiber structure dominates the stability. *Food Chemistry*, 440, 138189. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138189>
- Gao, P., Zheng, M., Lu, H., & Lu, S. (2023). The Progressive Utilization of Ponkan Peel Residue for Regulating Human Gut Microbiota through Sequential Extraction and Modification of Its Dietary Fibers. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/foods12224148>
- Gemechu, B., Keyata, E. O., Geleta, T. E., Gemedede, H. F., & Bayata, A. (2024). Optimization of mango peel pectin extraction (*Mangifera indica* L.): For the production of jam and jelly. *Applied Food Research*, 4(1), 100411. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100411>
- Giri, N. A., Bhangale, A., Gaikwad, N. N., Manjunatha, N., Raigond, P., & Marathe, R. A. (2024). Comparative study on effect of pomegranate peel powder as natural preservative and chemical preservatives on quality and shelf life of muffins. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 10307-. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61085-4>
- Gonzalez-Castillo, M., Jesus Loera, M. de, Ascacio-Valdes, J., Rodríguez-Herrera, R., Zugasti-Cruz, A., Salinas-Santander, M., Cepeda-Nieto, A. C., Vera-Reyes, I., Ángel-Martínez, M. Del, & Morlett-Chavez, A. (2021). Punicalin and ellagic acid from pomegranate peel extract facilitate apoptotic behaviour in the Hela cell line. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 34(6), 2181–2189.
- Grover, S., Aggarwal, P., Kaur, S., Yadav, R., & Kumar, A. (2023). Physicochemical Assessment, Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Potential Study of Essential Oil Extracted from the Peel of Different Galgal (*Citrus Pseudolimon*) Cultivars. *Waste and Biomass Valorization* 2023 15:5, 15(5), 3157–3167. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02321-2>
- Guo, H., Li, A., Huang, G., Jin, X., Xiao, Y., Gan, R. Y., & Gao, H. (2024). Development of apple pectin/soy protein isolate-based edible films containing punicalagin for strawberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273, 133111. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133111>
- Hadjar, H., Bachiller-Baeza, B., & Labied, R. (2024). New Low-cost Agricultural Biosorbent from Algerian Melon “Cucumis melo” Peels for Remediation of Water Ni (II) Pollution. *Water, Air, & Soil Pollution* 2024 235:7, 235(7), 421-. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07190-6>
- Hamdan, D. I., El-Shiekh, R. A., El-Sayed, M. A., Khalil, H. M. A., Mousa, M. R., Al-Gendy, A. A., & El-Shazly, A. M. (2020). Phytochemical characterization and anti-inflammatory potential of Egyptian Murcott mandarin cultivar waste (stem, leaves and peel). *Food & Function*, 11(9),

8214–8236.

<https://doi.org/10.1039/d0fo01796e>

Hammad Hussain, M., Sajid, S., Martuscelli, M., Aldahmash, W., Zubair Mohsin, M., Ashraf, K., Guo, M., & Mohsin, A. (2024). Sustainable biosynthesis of lycopene by using evolutionary adaptive recombinant *Escherichia coli* from orange peel waste. *Heliyon*, 10(14), e34366.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34366>

Hanan, E., Hasan, N., Zahiruddin, S., Ahmad, S., Sharma, V., & Ahmad, F. J. (2023). Utilization of Quince (*Cydonia oblonga*) Peel and Exploration of Its Metabolite Profiling and Cardioprotective Potential Against Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity in Wistar Rats. *ACS Omega*, 8(43), 40036–40050.  
<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00698>

Huang, K. H., Chang, C. P., Chien, L. H., Li, C. F., Tang, L. Y., Chan, Y. Y., & Wu, T. F. (2022). Uncovering the Inhibitory Molecular Mechanism of Pomegranate Peel to Urinary Bladder Urothelial Carcinoma Using Proteomics Techniques. *Life (Basel, Switzerland)*, 12(11).  
<https://doi.org/10.3390/life12111839>

Imbernó Díaz, A. L., Souto Anido, L., & Gómez Rosales, J. A. (2024). La Economía Circular desde la perspectiva de la empresa estatal cubana: ¿oportunidad o necesidad en las condiciones actuales? *Revista Científica*, 32(1).  
<https://doi.org/10.54495/rev.cientifica.v32i1.355>

Jiang, H., Liu, J., Cao, J., Khan, M. R., Ahmad, N., & Jiang, W. (2024). Multifunctional food packaging based on wampee seed starch and red pear peel extracts for simultaneous freshness preservation and

visual freshness detection. *Food Packaging and Shelf Life*, 43, 101293.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodpsl.2024.101293>

Jurado-Erazo, D. K., Tulcán-Cuasapud, Y. A., Rojas González, A. F., Jurado-Erazo, D. K., Tulcán-Cuasapud, Y. A., & Rojas González, A. F. (2023). Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), 3016.  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:3016](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3016)

Khan, A., Riahi, Z., Kim, J. T., & Rhim, J. W. (2024). Carboxymethyl cellulose/gelatin film incorporated with eggplant peel waste-derived carbon dots for active fruit packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 271, 132715.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132715>

Kohli, D., Sundriyal, J., Kumar, S., Upadhyay, S., & Hussain, A. (2024). Investigating the antioxidant capacity of orange peel extract and its application in shelf-life extension of ghee. *Journal of Stored Products Research*, 107, 102349.  
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102349>

Li, J., Chen, J., Xu, W., Zhang, W., Chen, Y., & Mu, W. (2022). Efficient Utilization of Fruit Peels for the Bioproduction of D-Allulose and D-Mannitol. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(22).  
<https://doi.org/10.3390/foods11223613>

Li, Y., Yang, J., Sun, L., Liu, B., Li, H., & Peng, L. (2023). Crosslinked fish scale gelatin/alginate dialdehyde functional films incorporated with carbon dots derived from pomelo peel waste for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253(Pt 6), 6).

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127290>

Llano, F. A., & Carrillo, L. E. (2015, October). Viajeros, recetas e identidad gastronómica: de la mezcla cultural al reconocimiento local. *Investigaciones En Alimentos y Cocina Colombiana*. [https://www.researchgate.net/publication/331592813\\_Viajeros\\_recetas\\_e\\_identidad\\_gastronomica\\_de\\_la\\_mezcla\\_cultural\\_al\\_reconocimiento\\_local](https://www.researchgate.net/publication/331592813_Viajeros_recetas_e_identidad_gastronomica_de_la_mezcla_cultural_al_reconocimiento_local)

Manuel Serrat Díaz, D., Cassamo Ussemame Mussagy, L., Isabel Camacho Pozo, M., Allán Méndez Hernández, A., & Rosa Catalina Bermúdez, D. C. (2016). Valorización de Residuos Agroindustriales Ricos en Pectinas por Fermentación. *Tecnología Química*, 36(1), 1–13. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852016000100001&lng=es&nrm=iso&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000100001&lng=es&nrm=iso&lng=es)

Marsiglia-Fuentes, R., Franco, J. M., & García-Zapateiro, L. A. (2024). Mango (*Mangifera indica*) seeds and peel-derived hydrocolloids: Gelling ability and emulsion stabilization. *Food and Bioproducts Processing*, 147, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.030>

Miguez, B., Vila, C., Venema, K., Parajo, J. C., & Alonso, J. L. (2020). Prebiotic effects of pectooligosaccharides obtained from lemon peel on the microbiota from elderly donors using an in vitro continuous colon model (TIM-2). *Food & Function*, 11(11), 9984–9999. <https://doi.org/10.1039/d0fo01848a>

Milošević, M., Vulić, J., Kukrić, Z., Lazić, B., Četojević-Simin, D., & Čanadanović-Brunet, J. (2023). Polyphenolic Composition, Antioxidant and

Antiproliferative Activity of Edible and Inedible Parts of Cultivated and Wild Pomegranate (*Punica granatum* L.). *Food Technology and Biotechnology*, 61(4), 485–493. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.04.23.8159>

Nowalid, W. F. W. M., Hamid, H. A., & Giwa, S. H. (2024). Development of citrus peel by-product as a slice jam by using two-level factorial design. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 8, 100196. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2024.100196>

Nurbaya, S. R., Yuwono, S. S., Rukmi Putri, W. D., & Latriyanto, A. (2024). Ohmic Heating Process for the Extraction of Betacyanin Pigment from Red Dragon Fruit Peel as a Natural Food Colorant Ingredient. *International Journal of Heat and Technology*, 42(3), 1065–1072. <https://doi.org/10.18280/ijht.420333>

Othman, S., Añibarro-Ortega, M., Dias, M. I., Ćirić, A., Mandim, F., Soković, M., Ferreira, I. C. F. R., Pinela, J., & Barros, L. (2022). Valorization of quince peel into functional food ingredients: A path towards “zero waste” and sustainable food systems. *Heliyon*, 8(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11042>

Pagliarini, E., Minichiello, C., Sisti, L., Totaro, G., Baffoni, L., Di Gioia, D., & Saccani, A. (2024). From food waste to eco-friendly functionalized polymer composites: Investigation of orange peels as active filler. *New Biotechnology*, 80, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2024.01.001>

Parafati, L., Pesce, F., Siracusa, L., Fallico, B., Restuccia, C., & Palmeri, R. (2021). Pomegranate Byproduct Extracts as Ingredients for Producing Experimental Cheese with Enhanced Microbiological, Functional, and Physical

- Characteristics. Foods (Basel, Switzerland), 10(11).  
<https://doi.org/10.3390/foods10112669>
- Parí, S. M., Juárez, M. L. M., Vilca, F. Z., Vilca, O. M. L., Alca, E. E. A., Escobedo-Pacheco, E., & Huamán-Castilla, N. L. (2024). Alternative green extraction techniques to enhance recovery of antioxidant compounds from red peel prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). *Discover Food* 2024 4:1, 4(1), 58–. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00140-5>
- Patra, J. K., Shin, H. S., Yang, I. J., Nguyen, L. T. H., & Das, G. (2024). Sustainable Utilization of Food Biowaste (Papaya Peel) Extract for Gold Nanoparticle Biosynthesis and Investigation of Its Multi-Functional Potentials. *Antioxidants* 2024, Vol. 13, Page 581, 13(5), 581. <https://doi.org/10.3390/antiox13050581>
- Pramitasari, R., Gunawicahya, L. N., & Anugrah, D. S. B. (2022). Development of an Indicator Film Based on Cassava Starch-Chitosan Incorporated with Red Dragon Fruit Peel Anthocyanin Extract. *Polymers*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/polym14194142>
- Prasetyo, E. N., Rokana, E., Baihaqi, Z. A., & Samudi, S. (2024). Anthelmintic effects of Podang mango (*Mangifera indica*) fruit peel waste extract through in vivo application on Indonesian Etawa goat production and health. *Veterinary World*, 17(6), 1291–1298. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.1291-1298>
- Rahma, A. S., Priandana, D., & Fauziyyah, A. (2024). Utilization of pectin from orange peel for edible packaging in fruit commodities: Literature review. *AIP Conference Proceedings*, 3048(1). <https://doi.org/10.1063/5.0202002>
- Rajak, A. K., Madiga, H., Mahato, D. L., Pothu, R., Periyasami, G., Sarangi, P. K., Boddula, R., & Mallampalli S.L., K. (2024). Exploring the peel ash of musa acuminate as a heterogeneous green catalyst for producing biodiesel from Niger oil: A sustainable and circular bio economic approach. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, 101622. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101622>
- Ran, Z., Xu, J., Zeng, W., Leng, Y., Wu, B., Zhan, X., Tsai, F. C., & Ma, N. (2024). An orange peel-based hydrogel composite for touch-responsive electronic skin. *Communications Materials* 2024 5:1, 5(1), 97–. <https://doi.org/10.1038/s43246-024-00540-1>
- Raveena, N. K., Rajan, S., Priya, S., Lankalapalli, R. S., & Reshma, M. V. (2024). First report on glucocerebrosides from unripe banana peel: Its anti-inflammatory and  $\alpha$ -glucosidase inhibition properties. *Food Chemistry Advances*, 4, 100700. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100700>
- Reyes-García, V., Botella-Martínez, C., Juárez-Trujillo, N., Muñoz-Tébar, N., & Viuda-Martos, M. (2024). Pitahaya (*Hylocereus ocamponis*)-Peel and -Flesh Flour Obtained from Fruit Co-Products—Assessment of Chemical, Techno-Functional and In Vitro Antioxidant Properties. *Molecules* 2024, Vol. 29, Page 2241, 29(10), 2241. <https://doi.org/10.3390/molecules29102241>
- Sharma, S., Majumdar, R. K., & Mehta, N. K. (2022). Gelling properties and microstructure of the silver carp surimi treated with pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract. *Journal of Food Science and Technology*, 59(11), 4210–4220.

<https://doi.org/10.1007/s13197-022-05478-1>

Shi, M., Guo, Q., Xiao, Z., Sarengaowa, Xiao, Y., & Feng, K. (2024). Recent Advances in the Health Benefits and Application of Tangerine Peel (*Citri Reticulatae Pericarpium*): A Review. *Foods* 2024, Vol. 13, Page 1978, 13(13), 1978.

<https://doi.org/10.3390/foods13131978>

Soleimanzadeh, A., Mizani, S., Mirzaei, G., Bavarsad, E. T., Farhoodi, M., Esfandiari, Z., & Rostami, M. (2024). Recent advances in characterizing the physical and functional properties of active packaging films containing pomegranate peel. *Food Chemistry: X*, 22, 101416.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.1.035>

Stefanello, C. L., & Rosa, Claudia. S. (2012). Composición aproximada de las cáscaras de diferentes frutas. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (17), 0–0.

[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185175872012000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185175872012000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt)

Tamborlin, L., Sumere, B. R., de Souza, M. C., Pestana, N. F., Aguiar, A. C., Eberlin, M. N., Simabuco, F. M., Rostagno, M. A., & Luchessi, A. D. (2020). Characterization of pomegranate peel extracts obtained using different solvents and their effects on cell cycle and apoptosis in leukemia cells. *Food Science & Nutrition*, 8(10), 5483–5496.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.1831>

Tambun, R., Haryanto, B., Alexander, V., Manurung, D. R., & Ritonga, A. P. (2024). Durian peel (*Durio zibethinus*) utilization as an adsorbent in the purification of acidified crude glycerol. *South African Journal of Chemical Engineering*, 49, 162–169.

<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.05.002>

Tone, A. M., Solana, H. M., Khan, N. ;, Borriello, M. R. ;, Torrieri, A. ;, Reig, S., Prieto, M., Solana, N. H., Rehan Khan, M., Borriello, A., Torrieri, E., Reig, C. S., & María, F. (2024). Study on the Properties of PLA- and PP-Based Films for Food Applications Incorporating Orange Peel Extract from Agricultural by-Products. *Polymers* 2024, Vol. 16, Page 1245, 16(9), 1245.

<https://doi.org/10.3390/polym16091245>

Vargas, M. de L. V. y, Brito, H. F., Cortez, J. A. T., López, V. M. T., & Huchin, V. M. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo-Sum*, ISSN 1405-0269, Vol. 26, No. 2 (Julio-October), 2019, 26(2), 6.

<https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>

Wanapat, M., Suriyapha, C., Dagaew, G., Prachumchai, R., Phupaboon, S., Sommai, S., & Matra, M. (2024). The recycling of tropical fruit peel waste-products applied in feed additive for ruminants: Food manufacturing industries, phytonutrient properties, mechanisms, and future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, 101234.

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101234>

Xie, D., Kuang, Y., Yuan, B., Zhang, Y., Ye, C., Guo, Y., Qiu, H., Ren, J., Alshammari, S. O., Alshammari, Q. A., El-Bahy, Z. M., Zhao, K., Guo, Z., Rao, Q., & Yang, S. (2025). Convenient and highly efficient adsorption of diosmetin from lemon peel by magnetic surface molecularly imprinted polymers. *Journal of Materials Science & Technology*, 211, 159–170.

<https://doi.org/10.1016/j.jmst.2024.06.001>

- Xing, Y., Liao, X., Liu, X., Li, W., Huang, R., Tang, J., Xu, Q., Li, X., & Yu, J. (2021). Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Synthesized with the Peel Extract of Mango. *Materials* (Basel, Switzerland), 14(19).  
<https://doi.org/10.3390/ma14195878>
- Xu, X., Li, X., Wei, X., Duan, X., & Wang, Y. (2024). Passion fruit peel fermentation extract and its active component kaempferol alleviate constipation and hemorrhoids in mice by downregulating ESRI and PI3K/Akt pathways. *Journal of Functional Foods*, 115(8), 106112. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(21\)00111-4](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(21)00111-4)
- Yun, D., & Liu, J. (2024). Preparation, Characterization and Application of Active Food Packaging Films Based on Sodium Alginate and Twelve Varieties of Mandarin Peel Powder. *Foods*, 13(8), 1174. <https://doi.org/10.3390/foods13081174>
- Zaki, A. H., Saleh Gazwi, H. S., Hamed, M. M., Galal, S. M., Almeahmadi, A. M., Almuraee, A. A., Alqurashi, A. F., & Yassien, E. E. (2024). The synergistic potential of orange peel extract: A comprehensive investigation into its phenolic composition, antioxidant, antimicrobial, and functional fortification properties in yogurt. *Food Chemistry: X*, 22(1), 101458. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101458>
- Zakirah, S., Hakiki, D. N., & Leonita, S. (2024). Antibacterial activity of peel bligo (*Benincasa hispida*) extract on the growth of food pathogen bacteria. *AIP Conference Proceedings*, 3048(1). <https://doi.org/10.1063/5.0206107>
- Zhang, S., Cheng, X., Yang, W., Fu, Q., Su, F., Wu, P., Li, Y., Wang, F., Li, H., & Ai, S. (2024). Converting fruit peels into biodegradable, recyclable and antimicrobial eco-friendly bioplastics for perishable fruit preservation. *Bioresource Technology*, 406, 131074. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131074>
- Zhang, X., Zheng, Y., Zhou, C., Cao, J., Zhang, Y., Wu, Z., Pan, D., Cai, Z., & Xia, Q. (2024). Combining thermosonication microstress and pineapple peel extract addition to achieve quality and post-acidification control in yogurt fermentation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 105(4), 106857. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106857>
- Zhu, H., Wang, R., Cheng, J. H., & Keener, K. M. (2024). Engineering pineapple peel cellulose nanofibrils with oxidase-mimic functionalities for antibacterial and fruit preservation. *Food Chemistry*, 451, 139417. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139417>

