Revisión bibliográfica de metodologías para el aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales

Johanna España Muñoz

Alex Javier Bacca Narváez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Maestría en Biotecnología Alimentaria

Popayán, Colombia

Agosto de 2024

Revisión bibliográfica de metodologías para el aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales

Johanna España Muñoz

Alex Javier Bacca Narváez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Biotecnología Alimentaria

Modalidad

Monografía

Directoras:

Andrea Vásquez García

Ingeniera Agroindustrial - MSc. Ph.D. Ingeniería de Alimentos

Ibeth Rodríguez Gonzalez

Ingeniera de Alimentos - Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Maestría en Biotecnología Alimentaria

Popayán – Colombia

Agosto de 2024

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

_____

Johanna España Muñoz

_____

Alex Javier Bacca Narváez

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a: la Doctora Andrea Vásquez García y la Magister Ibeth Rodríguez Gonzalez, por su guía como asesoras de este trabajo de monografía. También se hace un agradecimiento especial al profesor y compañero Roger Alberto Rabelo por sus clases sobre el uso del software R Studio.

Dedicatoria

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a mi madre y a mi hermana, por su amor incondicional; a mi esposo, por su constante apoyo y por ser la fortaleza en cada paso que doy; y a mi familia y amigos, por su fe inquebrantable en mí, la cual ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

Johanna España Muñoz

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por todas sus bendiciones y guía recibida en el transcurso de mi vida, a mi esposa Evelyn por todo su apoyo y por convertirse en mi complemento perfecto y a mis hijos Isabella y Alejandro quienes son el motor de todo lo que hago.

Alex Javier Bacca Narváez

Resumen

A nivel mundial, se estima que el 17% del total de alimentos disponibles para los consumidores, equivalente a 931 millones de toneladas al año, se pierden en alguna etapa del ciclo de vida de los alimentos. En Colombia, estas pérdidas representaron el 34% de los alimentos disponibles y aptos para el consumo humano en el año 2021, lo que corresponde a 3,55 millones de toneladas de alimentos por año. Las frutas y verduras son los alimentos que más se pierden y/o desperdician. A pesar de que la cantidad de alimentos desperdiciados en el país es significativa, la tasa de aprovechamiento es muy baja. La mayoría de los residuos de alimentos que podrían aprovecharse terminan como basura, constituyendo el 44% de la masa total de desechos sólidos municipales. Por lo tanto, no se ha considerado seriamente el potencial de los residuos de frutas y verduras, generados a lo largo del ciclo de vida de los alimentos, como fuente de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales.

El objetivo de este trabajo fue identificar metodologías de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales, mediante la revisión de fuentes secundarias utilizando la herramienta Bibliometrix con R Studio. Se encontró que los residuos de frutas y verduras son ricos en compuestos bioactivos como: fibra dietética, vitaminas, minerales y fitoquímicos entre los que se encuentran: compuestos fenólicos, terpénicos, azufrados y nitrogenados, siendo los compuestos fenólicos, los compuestos terpénicos y la fibra dietética los más estudiados para su uso en alimentos funcionales. Las vitaminas A, C y E, minerales (Ca, Cu, Zn, Mn y Se) y polifenoles, tienen excelentes propiedades antioxidantes, lo que los convierte en compuestos útiles para la prevención y el tratamiento de las enfermedades producidas por el estrés oxidativo, además presentan actividades cardioprotectoras, antiinflamatorias, antidiabéticas, antiobesidad, antitumorales, neuroprotectoras, gastroprotectoras, anticoagulantes, antitrombóticos, entre otras,

brindando muchas alternativas prometedoras para la industria alimentaria en el desarrollo de alimentos funcionales y en industrias como la cosmética y farmacéutica.

Las tecnologías de extracción convencionales, como la extracción Soxhlet, hidrodestilación y maceración, se destacan por su amplio uso, pero enfrentan limitaciones significativas como baja velocidad de extracción, la necesidad de solventes costosos y peligrosos, baja selectividad, riesgo de pérdida de compuestos volátiles y altos costos energéticos. En respuesta, las tecnologías emergentes de extracción se centran en procesos no térmicos para evitar el sobrecalentamiento, ofreciendo alternativas más seguras y eficientes. Entre estas, la extracción asistida por ultrasonido, la extracción asistida por microondas, la extracción con fluidos supercríticos, campos eléctricos pulsados, y la extracción asistida por enzimas, prometen mejoras en eficacia, selectividad y sostenibilidad ambiental, superando desafíos de escalado e integración en estrategias de valorización.

En la industria cárnica las investigaciones se centran en la aplicación de diferentes compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras como antioxidantes, antimicrobianos y como sustitutos de las grasas, que combinados con diferentes técnicas de conservación han logrado aumentar la vida útil de estos productos. En la industria láctea, los compuestos bioactivos extraídos de frutas y verduras han sido utilizado como prebióticos, antioxidantes, micronutrientes y ácidos grasos insaturados, buscando una fortificación adecuada sin que ella interfiera en la tasa de supervivencia de los microorganismos no iniciadores, probióticos y prebiótico. Finalmente, en la industria panificadora se buscan mejorar la actividad antioxidante y el contenido de fibra dietética utilizando compuestos biactivos de residuos de frutas y verduras como sustitutos parciales de la harina de trigo, lo que permite obtener productos funcionales con valor añadido. Sin embargo, es importante investigar la calidad sensorial de

estos productos enriquecidos, ya que el nivel de reemplazo utilizado puede afectar los atributos sensoriales y la aceptación por parte del consumidor.

Las prospectivas futuras en el área del aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos biactivos y su uso en alimentos funcionales apuntan hacia: (i) El desarrollo de métodos de extracción eficientes, económicos y sostenibles, (ii) El escalamiento a nivel industrial con aplicaciones especificas, evaluando costos y mercados existentes, (iii) El desarrollo de alimentos funcionales con el equilibrio entre funcionalidad y calidad sensoria, (iv) Estudios clínicos que comprueben la promoción de la salud y bienestar y (v) La normatividad que legisle la inclusión de compuestos bioactivos extraídos de los residuos de frutas y verduras en el desarrollo de alimentos funcionales.

Palabras claves: Análisis bibliométrico, fitoquímicos, polifenoles, técnicas de extracción.

Abstract

Globally, it is estimated that 17% of the total food available to consumers, equivalent to 931 million tons per year, is lost at some stage of the food life cycle. In Colombia, these losses represented 34% of the food available and suitable for human consumption in 2021, corresponding to 3.55 million tons of food per year. Fruits and vegetables are the foods that are most lost and/or wasted. Although the amount of food wasted in the country is significant, the rate of utilization is very low. Most of the food waste that could be used ends up as garbage, constituting 44% of the total mass of municipal solid waste. Therefore, the potential of fruit and vegetable waste, generated throughout the life cycle of food, as a source of bioactive compounds useful in the production of functional foods has not been seriously considered. The objective of this work was to identify methodologies for the use of fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds useful in the production of functional foods, by reviewing secondary sources using the Bibliometrix tool with R Studio. It was found that fruit and vegetable waste is rich in bioactive compounds such as: dietary fiber, vitamins, minerals and phytochemicals among which are: phenolic, terpenic, sulfur and nitrogen compounds, with phenolic compounds, terpenic compounds and dietary fiber being the most studied for their use in functional foods. Vitamins A, C and E, minerals (Ca, Cu, Zn, Mn and Se) and polyphenols have excellent antioxidant properties, making them useful compounds for the prevention and treatment of diseases caused by oxidative stress. They also have cardioprotective, anti-inflammatory, antidiabetic, antiobesity, antitumor, neuroprotective, gastroprotective, anticoagulant, antithrombotic activities, among others, providing many promising alternatives for the food industry in the development of functional foods and in industries such as cosmetics and pharmaceuticals.

Conventional extraction technologies, such as Soxhlet extraction, hydrodistillation and maceration, stand out for their wide use, but face significant limitations such as low extraction speed, the need for expensive and hazardous solvents, low selectivity, risk of loss of volatile compounds and high energy costs. In response, emerging extraction technologies focus on non-thermal processes to avoid overheating, offering safer and more efficient alternatives. Among these, ultrasound-assisted extraction, microwave-assisted extraction, supercritical fluid extraction, pulsed electric fields, and enzyme-assisted extraction promise improvements in efficiency, selectivity, and environmental sustainability, overcoming challenges of scaling and integration into valorization strategies.

In the meat industry, research is focused on the application of different bioactive compounds extracted from fruit and vegetable waste as antioxidants, antimicrobials, and fat substitutes, which combined with different preservation techniques have managed to increase the shelf life of these products. In the dairy industry, bioactive compounds extracted from fruits and vegetables have been used as prebiotics, antioxidants, micronutrients, and unsaturated fatty acids, seeking adequate fortification without interfering with the survival rate of non-starter microorganisms, probiotics, and prebiotics. Finally, the baking industry is seeking to improve antioxidant activity and dietary fibre content by using bioactive compounds from fruit and vegetable residues as partial substitutes for wheat flour, allowing for the production of functional products with added value. However, it is important to investigate the sensory quality of these enriched products, as the level of replacement used may affect sensory attributes and consumer acceptance.

Future prospects in the area of the use of fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds and their use in functional foods point towards: (i) The development of efficient,

economic and sustainable extraction methods, (ii) Scaling up to an industrial level with specific applications, evaluating costs and existing markets, (iii) The development of functional foods with a balance between functionality and sensory quality, (iv) Clinical studies that prove the promotion of health and well-being and (v) Regulations that legislate the inclusion of bioactive compounds extracted from fruit and vegetable waste in the development of functional foods.

Keywords: Bibliometric analysis, phytochemicals, polyphenols, extraction techniques.

Tabla de Contenido

Introducción 19
Planteamiento del Problema 21
Justificación 24
Objetivos 28
Objetivo General 28
Objetivos Específicos 28
Marco Teórico 29
Conceptos Básicos 29
Residuo Alimentario 29
Subproductos 29
Coproductos 29
Desecho 30
Compuestos Bioactivos 30
Alimento Funcional 30
Bibliometría 31
Análisis Bibliométrico 31
Manejo de los Residuos Alimentarios 32
Principales Compuestos Bioactivos Utilizados para el Desarrollo de Alimentos Funcionales 32
Técnicas para la Extracción de Compuestos Bioactivos a Partir de Residuos de Frutas y Verduras 39
Tecnologías de Extracción Convencionales 39
Tecnologías Emergentes de Extracción 39
Uso de Compuestos Bioactivos 41
Uso de Compuestos Bioactivos en la Industria Alimentaria 42
Metodología 44
Resultados 49
Capítulo 1. Panorama del Aprovechamiento de Residuos de Frutas y Verduras en la Obtención de Compuestos Bioactivos 49
Producción científica del aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la extracción de compuestos bioactivos y su aplicación en alimentos funcionales 49
Análisis histórico de la producción científica 49
Idioma de las publicaciones 50

Análisis de países 50
Análisis de autores 51
Análisis de revistas 53
Análisis de redes 55
Compuestos Bioactivos Extraídos de Residuos de Frutas y Verduras 56
Compuestos Fenólicos 57
Compuestos Terpénicos 58
Compuestos Organosulfurados 60
Compuestos Nitrogenados 61
Fibra 61
Vitaminas y Minerales 61
Acidos Grasos Poliinsaturados 62
Principales Residuos Estudiados para la Obtención de Compuestos Bioactivos 62
Aprovechamiento de Residuos del Tomate 62
Aprovechamiento de Residuos del Mango 64
Aprovechamiento de los Residuos de los Cítricos 66
Aprovechamiento de los Residuos de otras Frutas y Verduras 68
Importancia de Compuestos Bioactivos Sobre la Salud 70
Tendencias Futuras en el Aprovechamiento de Residuos de Frutas y Verduras y sus Compuestos Bioactivos 80
Capítulo 2. Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos a Partir de Residuos de Frutas y Verduras. 82
Técnicas Convencionales 83
Extracción Soxhlet 83
Hidrodestilación 86
Maceración 88
Técnicas Emergentes 92
Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU) 92
Extracción Asistida por Microondas (MAE) 98
Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE) 103
Campo Eléctrico Pulsado (PEF) 110
Extracción Asistida por Enzimas (EAE) 116
Diagramas de Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos 125

Tendencias Futuras en las Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos a Partir de residuos de Frutas y Verduras. 136
Capítulo 3. Aplicaciones de Compuestos Bioactivos Obtenidos De Residuos de Frutas y Verduras en la Elaboración de Alimentos Funcionales. 137
Industria Cárnica 137
Antioxidantes 137
Antimicrobianos 145
Sustitutos de la Grasa 146
Industria Láctea 152
Industria Panificadora 160
Otras Industrias Alimentarias 170
Tendencias Futuras en el Uso de Compuestos Bioactivos Obtenidos de Residuos de Frutas y Verduras en la elaboración de Alimentos Funcionales. 177
Conclusiones 179
Recomendaciones 183
Referencias Bibliográficas 184

Lista de Figuras

Figura 1 *Estructura química básica de las principales clases de polifenoles.* 33

Figura 2 *Estructura química de algunos carotenoides.* 35

Figura 3 *Diferentes técnicas para la extracción de compuestos bioactivos de los residuos de alimentos y sus beneficios para la salud.* 42

Figura 4 *Histórico de publicaciones científicas, años 2015 y 2023.* 49

Figura 5 *Idiomas de publicaciones científicas, años 2015 y 2023.* 50

Figura 6 *Producción científica por país, años 2015 y 2023.* 51

Figura 7 *Redes: Co-citación de autores, colaboración de autores, colaboración de países y Co-ocurrencia de palabras claves, años 2015 y 2023.* 55

Figura 8 *Esquema extracción Soxhlet* 84

Figura 9 *Esquema de montaje para hidrodestilación* 87

Figura 10 *Representación esquemática de la maceración en frío* 89

Figura 11 *Representación esquemática de la maceración con calor* 90

Figura 12 *Representación esquemática de la maceración dinámica* 91

Figura 13 *Principio de la cavitación acústica* 94

Figura 14 *Representación gráfica del colapso y liberación de material vegetal de la burbuja de cavitación en tres pasos* 94

Figura 15 *Equipo de Extracción asistida por ultrasonido* 96

Figura 16 *Diagrama esquemático de la unidad de extracción asistida por microondas* 99

Figura 17 *Principio esquemático operativo y mecanismos del MAE.* 101

Figura 18 *Esquema de un equipo usado para SFE* 105

Figura 19 *Diagrama de la unidad de extracción por fluido supercrítico* 108

Figura 20 *Resumen grafico del estudio*..... 109

Figura 21 *Principio de la extracción PEF*..... 111

Figura 22 *Montaje experimental sistema PEF por lotes* 113

Figura 23 *Sistema de extracción continua PEF*..... 114

Figura 24 *Mecanismo de EAE* 117

Figura 25 *Mecanismo de EAAE*..... 118

Figura 26 *Selección de Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos Dependiendo del compuesto bioactivo*..... 126

Figura 27 *Selección de Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos Dependiendo del compuesto bioactivo*..... 127

Lista de Tablas

Tabla 1 *Componentes bioactivos extraídos de diferentes residuos de frutas y verduras*. 37

Tabla 2 *Criterios de búsqueda utilizados para el desarrollo del objetivo específico No 1*..... 46

Tabla 3 *Criterios de búsqueda utilizados para el desarrollo del objetivo específico No 2*..... 47

Tabla 4 *Criterios de búsqueda utilizados para el desarrollo del objetivo específico No 3*..... 47

Tabla 5 *Autores más relevantes, años 2015 y 2023.* 53

Tabla 6 *Revistas más relevantes, años 2015 y 2023.* 54

Tabla 7 *Compuestos bioactivos extraídos de diferentes residuos de frutas y verduras, efecto metabólico y efecto sobre la salud.* 73

Tabla 8 *Técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y hortalizas***.** 121

Tabla 9 *Técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y hortalizas***.** 129

Tabla 10 *Residuos de frutas y verduras utilizados como agentes antioxidantes en carne y productos cárnicos.* 140

Tabla 11 *Residuos de frutas y verduras utilizados como agente antimicrobiano en carne y productos cárnicos.* 147

Tabla 12 *Residuos de frutas y verduras utilizados como sustituto de la grasa en productos cárnicos.* 150

Tabla 13 *Residuos de frutas y verduras utilizados para mejorar la vida útil y propiedades funcionales en productos lácteos.* 155

Tabla 14 *Diferentes estudios desarrollados en la industria de panificación donde se utilizaron residuos de frutas y verduras* 162

Tabla 15 *Residuos de frutas y verduras utilizados para la elaboración de diferentes alimentos funcionales.* 171

Introducción

Las frutas y las verduras son los cultivos hortícolas más utilizados ya que permiten consumirse de manera fresca, mínimamente procesados o procesados debido a sus altos contenidos nutritivos (Kainat et al., 2022; Noce et al., 2021). Sin embargo, las malas prácticas involucradas en las operaciones en el campo, cosecha, postcosecha, transporte, almacenamiento y comercialización, así como también los malos manejos en el hogar, llevan a desperdiciar aproximadamente un tercio de la comida, lo que se convierte en un problema crítico no sólo frente a la nutrición humana y el medio ambiente, sino que también se presenta el desaprovechamiento de los compuestos bioactivos presentes en cáscaras, semillas, hojas, pulpa y orujos con enormes usos y beneficios para diversas industrias como la alimenticia en el desarrollo de alimentos funcionales, la farmacéutica, cosmética y química (Akter & Rabeta, 2021; Sagar et al., 2018).

Los residuos de las frutas y las verduras se componen principalmente de cáscaras, cortezas, semillas, piel, grano, salvado, tallos, orujo, entre otros, materiales poco utilizados pero que son fuentes importantes de fibra dietética, diferentes ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, pigmentos, azúcares y minerales (Kainat et al., 2022; Yalcin et al., 2022). Compuestos bioactivos de mucho interés y de bajo costo por provenir de residuos, los cuales se extraen utilizando tecnologías tradicionales como: Soxhlet, hidrodestilación y maceración o mediante tecnologías emergentes entre las que se destacan: Extracción asistida por ultrasonido, extracción asistida por microondas, extracción con fluidos supercríticos, extracción usando campo eléctrico pulsado y extracción asistida por enzimas (Bonilla, 2021; Cornejo-Figueroa et al., 2020; Kainat et al., 2022; Reche, 2018; Solarte, 2020; Wong-paz et al., 2020).

La importancia de estos compuestos bioactivos se centran en los efectos beneficiosos para la salud por ser anticancerígenos, antialergénicos, antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios, antitrombóticos, cardioprotectores, cardiodilatadores, prebióticos, anticolinérgicos, hipolipemiantes y antidiabéticos (Chamorro et al., 2022; Mwaurah et al., 2020; Rafiq et al., 2018). Por lo tanto, la industria busca aprovechar estas propiedades en el desarrollo de alimentos funcionales, el desarrollo de alimentos fortificados, en el envasado activo de alimentos, el desarrollo de probióticos y nutracéuticos (Chamorro et al., 2022; Gámez, 2020).

En la presente monografía se aborda el tema de las metodologías de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales, mediante la revisión de fuentes secundarias utilizando la herramienta Bibliometrix con R Studio.

Planteamiento del Problema

Según datos de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el informe sobre el Índice de desperdicio de alimentos 2021, se estima que aproximadamente el 17% del total de alimentos disponibles para los consumidores (931 millones de toneladas/año) se pierden en alguna de las etapas del ciclo de vida de los alimentos, es decir, desde la producción agrícola, la transformación agroindustrial y la distribución, llegando a desecharse como basura (ONU, 2021). En Colombia, a pesar que en agosto del 2019 se creó la ley 1990: política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos, en el año 2021, se desperdiciaron 3,55 millones de toneladas de alimentos anuales, lo que equivale al 34% de los alimentos disponibles y aptos para el consumo humano, siendo la etapa de producción donde se presentan las mayores pérdidas (40,5%), seguido de la etapa de distribución y retail (20,6%), las labores de postcosecha y almacenamiento (19,8%) y el consumo (15,6%) (Mena, 2021). Los resultados indican que cada colombiano en promedio desperdicia 70 kilos de comida al año, siendo las frutas y verduras los alimentos que más se pierden y/o desperdician (Ley 1990, 2019; Rodríguez, 2022).

Pese a que la cantidad de alimentos que se desperdicia en el país es bastante alta, el aprovechamiento es muy bajo, ya que la mayoría de los residuos de alimentos que se podrían aprovechar terminan como basura, haciendo parte del 44% de la masa total de desechos sólidos municipales (Monterrosa, 2019). Solo una pequeña cantidad de esos residuos que se tratan como basura es aprovechada para alimentación de cerdos en fincas o a nivel de relleno municipal para la generación de compostaje y para obtener biogás rico en metano y/o hidrógeno (Pulido & Núñez, 2021). Residuos que mejor aprovechados contribuirían con el plan nacional de bioeconomía que desde el 2020, busca gestionar eficiente y sosteniblemente la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos y procesos de valor agregado; ya que, la investigación en

Bioeconomía ha sido identificada como una de las áreas estratégicas más relevante en el mundo para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, tanto en los países desarrollados como en los emergentes, al lograr entre sus misiones: (i) El aprovechamiento de la biomasa para la generación de productos, procesos y servicios, y (ii) Facilitar el tránsito hacia una economía basada en el uso sostenible de la biomasa, la biodiversidad y sus servicios Ecosistémicos (Gobierno de Colombia, 2019, 2020).

A nivel internacional, conscientes de la gran cantidad de residuos orgánicos que se están generando y basados en los principios de la sostenibilidad global y la bioeconomía que buscan aprovechar al máximo los fotoquímicos de interés y de bajo costo que se pueden extraer de los residuos de frutas y verduras, existen diferentes investigaciones donde se han obtenido compuestos bioactivos a partir del aprovechamiento de residuos de: manzana (Ibarra-Cantún et al., 2022; Lazo & Ramírez, 2022), uvas (Cotacallapa-Sucapuca et al., 2020; Ruales et al., 2017), pieles y semillas de guayaba (Rojas et al., 2019; Velasco-Arango et al., 2020), residuos de zanahorias (Otálora-Orrego & Martin, 2020), de las cáscaras de papa (Rodríguez-Martínez et al., 2021), del salvado de trigo (Chaquilla et al., 2018), cáscaras del mango (Rubiano-Charry et al., 2019) y residuos de café (Torres, 2020), estudiando diferentes técnicas que van desde la extracción con solventes hasta técnicas de última generación que utilizan: fluidos supercríticos, agua subcrítica, microondas, ultrasonido y extracción asistida por enzimas (Palacio et al., 2018).

En Colombia, hasta el momento, solamente se ha aprovechado los residuos generados por las principales agroindustrias para obtener biomasa destinada a la generación de compostaje, biogás, biocombustibles, el cultivo de hongos comestibles, bioempaques y la obtención de algunas sustancias químicas de interés industrial que tradicionalmente se obtenían de materiales fósiles (Cury et al., 2017). Sin embargo, no se ha considerado seriamente que los residuos de

frutas y verduras generados a lo largo del ciclo de vida de los alimentos pueden ser una fuente de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales, compuestos que hacen parte de los mencionados nuevos materiales derivados de la biomasa con potencial de aplicación en la generación de bienes y servicios de alto valor agregado sugerido por la Misión de sabios Colombia (2019) como alternativas que se deben desarrollar por medio de la Biotecnología para el desarrollo de la Bioeconomía y Medio Ambiente en Colombia (Arias et al., 2018; Gobierno de Colombia, 2019).

Por lo tanto, existe la necesidad de contar con un documento académico que responda a la pregunta: ¿Cuáles son las actuales metodologías de aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales?

Justificación

Contar con un estudio sobre el aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales permitirá disponer de un documento académico de consulta tanto por la academia como por la industria. En él: (i) se describirá el actual panorama de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras, identificando los principales compuestos bioactivos estudiados para el desarrollo de alimentos funcionales, (ii) se presentará un compendio de las diferentes técnicas para la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos de frutas y verduras y (iii) se identificarán las aplicaciones de compuestos bioactivos obtenidos de residuos de frutas y verduras en el desarrollo de alimentos funcionales.

La información suministrada por el documento académico desarrollado apoya las políticas nacionales enmarcadas en:

(i) *La ley 1990 (2019): por medio de la cual se crea la política para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos*, donde en el artículo 3, se menciona que dentro de las acciones para reducir la pérdida y el desperdicio se contemplan los procesos de aprovechamiento de residuos orgánicos; además, este estudio está enmarcado dentro del objetivo 13, que busca el promover proyectos y estudios innovadores destinados a limitar el uso de los residuos y de los excedentes de alimentos (Ley 1990, 2019).

(ii) *El plan nacional de bioeconomía (2020): Para una Colombia potencia viva y diversa: Hacia una sociedad impulsada por el conocimiento, aportando con el desarrollo del objetivo de potencializar la generación y sofisticación de productos y procesos de alto valor agregado y cadenas de valor a partir del uso del conocimiento y del aprovechamiento sostenible de la biomasa, biodiversidad y sus servicios Ecosistémicos.*

Este trabajo está enmarcado dentro de la misión de: (i) generar una cadena de valor para productos de la biodiversidad con alto valor agregado, con enfoque regional y (ii) apoyar la formación y generación de conocimiento a lo largo y ancho del territorio nacional. Además, brinda información básica para el apoyo a las áreas y desarrollos estratégicos del plan nacional de bioeconomía como: (i) la biomasa y química verde, que busca una biomasa con 100% más valor y cero desperdicios a través del uso de la química verde, las biofactorias y biorefinerías y (ii) Colombia biointeligente: buscando ingredientes naturales y bioactivos para alimentos, cosméticos y farmacia con productos y procesos en sectores priorizados de la bioeconomía a través de tecnologías emergentes, convergentes e industria 4.0 con énfasis en el desarrollo de medicamentos esenciales, biotecnológicos, biosimilares y fitoterapéuticos (Gobierno de Colombia, 2020).

(iii) *La Misión de sabios Colombia (2019): Misión internacional de sabios para el avance de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. Pacto por la Ciencia, la Tecnología y la Innovación: Un sistema para construir el conocimiento del futuro*. Donde el trabajo desarrollado apoya las acciones a seguir en el campo de la Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente que involucra investigaciones en el área de: (i) ingredientes activos aislados a partir de biodiversidad colombiana para aplicaciones en la industria de alimentos, cosméticos y productos de aseo y (ii) nuevos materiales derivados del aprovechamiento de la biomasa (residual y no residual) (Ley 1990, 2019).

(iv) El desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible, apoyando el *ODS 12: Producción y consumo responsables, garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*, donde el documento científico desarrollado estaría enmarcado en los ítems: (i) lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo

> largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente y (ii) reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización (CONPES, 2018).

De igual manera, en el sector académico, la información desarrollada en esta monografía puede convertirse en tema de consulta para el desarrollo de futuras investigaciones en temas relacionados con el aprovechamiento de residuos alimentarios y compuestos bioactivos, así como en el desarrollo de alimentos funcionales. En cuanto al sector industrial, dado el creciente interés de los consumidores por disponer de alimentos saludables en términos de nutrición, promoción de la salud y reducción del riesgo de enfermedades, tanto la industria farmacéutica como la alimentaria tienen un interés común en obtener nuevos componentes bioactivos para la producción de alimentos funcionales (Ancos et al., 2016; Jiménez, 2019; Kumar et al., 2017). Por lo tanto, es necesario generar documentos académicos que presenten el análisis de la información disponible sobre el aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para que estos puedan ser tomados como base por los grupos de investigación y desarrollo de la industria para la obtención de componentes bioactivos de interés a partir de las fuentes estudiadas.

Asimismo, este documento académico puede brindar información que sirva de base para la creación de empresas biotecnológicas, dedicadas a la obtención de compuestos bioactivos a partir de los desechos de frutas y verduras, industria relativamente nueva que se está desarrollando en todo el mundo y que es económicamente sustentable al utilizar materias primas que, al ser residuos de alimentos, se consiguen a muy bajos costos, los productos obtenidos de

los procesos de transformación tienen buenos rendimientos y una calidad similar a la de los obtenidos con materias primas tradicionales (Kwan et al., 2018; Pleissner, 2016).

Objetivos

Objetivo General

Identificar metodologías de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales, mediante la revisión de fuentes secundarias utilizando la herramienta Bibliometrix con R Studio.

Objetivos Específicos

Describir el actual panorama de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras, identificando los principales compuestos bioactivos estudiados para el desarrollo de alimentos funcionales mediante el análisis bibliométrico con R Studio de la producción científica desarrollada.

Compilar las diferentes técnicas convencionales y emergentes para la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos de frutas y verduras.

Identificar aplicaciones industriales ya establecidas y futuras tendencias de compuestos bioactivos obtenidos de residuos de frutas y verduras en alimentos funcionales.

Marco Teórico

El aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras para la obtención de componentes bioactivos es un campo de estudio muy prometedor teniendo presente el interés de industrias como la alimentaria, cosmética y farmacéutica (Castro, 2022), que buscan obtener alimentos con características funcionales, explorando todo el beneficio que estos componentes ofrecen para el mantenimiento y mejoras en la salud (Preciado et al., 2022).

Para abordar este tema es importante tener claridad en los siguientes aspectos conceptuales y teóricos:

Conceptos Básicos

Residuo Alimentario

Es todo descarte procedente de lo destinado al consumo humano, generado tanto en producción, procesado, venta y consumo; ya sea comestible o no, y gestionado mediante valorización o vertedero (Baquero, 2017). Un residuo es un concepto muy diferente a los coproductos, subproductos y desechos (Mestre & Martínez, 2017).

Subproductos

Es un bien secundario obtenido de un proceso industrial, cuando dicho procedimiento originalmente se llevó a cabo para fabricar otro producto. Es decir, al desarrollar una actividad económica, pueden generarse bienes residuales que ya no formarán parte del proceso productivo. Sin embargo, es factible dar valor comercial a estos subproductos (Djukić-Vuković et al., 2019; Westreicher, 2022).

Coproductos

Es cuando un fabricante produce dos productos similares al mismo tiempo. Un coproducto también puede ser el producto que se fabrica inmediatamente después de otro

producto debido a las similitudes entre los dos productos. Incluso si los productos no son iguales o similares, si el proceso para fabricar los dos productos es el mismo o similar, entonces esta también es una situación de coproducto (Castro et al., 2020; Mayo & Tarapaqui, 2022).

Desecho

En términos generales la palabra desecho, representa a todos aquellos objetos, sustancias o materiales que sobran o restan de algo que ha sido trabajado, procesado o consumido y que ya no posee algún tipo de uso, es decir, es inservible y, por tanto, necesita ser eliminado, es decir son desperdicios o sobrantes de las actividades humanas. En el mundo industrializado su incremento es constante (Bermeo, 2021; Lizarzaburu & Baca, 2022).

Compuestos Bioactivos

Se definen como el tipo de sustancia química que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos (como frutas, verduras, nueces, aceites y granos integrales), que cumplen funciones en el cuerpo que pueden promover la buena salud (Vivero et al., 2019). Al hablar de compuestos bioactivos podemos decir que las frutas y verduras representan la forma más simple de alimentos funcionales porque son ricas en varios componentes bioactivos. Se ha demostrado que las frutas que contienen polifenoles y carotenoides tienen actividad antioxidante y disminuyen el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer (Del Toro et al., 2015). Los compuestos bioactivos son utilizados en la elaboración de alimentos funcionales (Rodríguez et al., 2016).

Alimento Funcional

Alimento que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades (Arias et al.,

2018; Fuentes et al., 2015). El desarrollo de alimentos funcionales se centra en condicionar la presencia de determinados compuestos, ya sea limitando aquellos que tienen efectos negativos como los causantes de alergias o irritantes para la salud del consumidor o bien, incrementando la cantidad de compuestos que presentan efectos benéficos como la fibra, polifenoles, flavonoides, carotenoides, vitaminas y minerales (Ramírez-Osorio et al., 2022). Teniendo presente que los residuos de frutas y verduras son ricos en compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides o carotenoides, aceites esenciales, fibras (solubles e insolubles) y péptidos, pueden ser utilizados para el desarrollo de alimentos funcionales (Kumar et al., 2017).

Bibliometría

Es una parte de la cienciometría que aplica métodos matemáticos y estadísticos para analizar el curso de la comunicación escrita o literatura de carácter científico, así como a los autores que la producen (Tomás, 2018). La bibliometría se enfoca en cuantificar la actividad científica mediante el uso de métodos cuantitativos aplicados a las características del discurso escrito y a los comportamientos asociados. Para lograrlo, emplea leyes bibliométricas, que se basan en el comportamiento estadístico constante de los elementos de la ciencia a lo largo del tiempo. Los indicadores bibliométricos son las herramientas utilizadas para medir estos aspectos, proporcionando información sobre los resultados de la actividad científica en diversas formas. (Gómez, 2015).

Análisis Bibliométrico

El análisis bibliométrico de las publicaciones científicas constituye una parte fundamental dentro de las herramientas del proceso de investigación, se ha convertido en un método de evaluación que permite calificar el proceso de generar conocimiento y su impacto en el entorno científico (Maz-Machado et al., 2016). Los indicadores bibliométricos resultan los

parámetros más idóneos para valorar la actividad científica de un autor, de un grupo de trabajo, de una revista o de un país. No sólo permiten analizar la actividad científica en un momento determinado, sino también su evolución (Vázquez et al., 2019).

Manejo de los Residuos Alimentarios

En el 2021, el 17% de los alimentos disponibles para el consumo humano (931 millones de toneladas/año), se perdieron en labores como la cosecha, procesamiento y distribución (ONU, 2021). En el mismo año, en Colombia esta situación llego al 34% (3,55 millones de toneladas/ año), encontrándose que las mayores pérdidas se presentaron en la etapa de producción (40,5 %), distribución y retail (20,6%), labores de postcosecha y almacenamiento (19,8%) y el consumo (15,6%), siendo las frutas y verduras los alimentos que más se pierden y/o desperdician (Mena, 2021; Rodríguez, 2022).

La mayoría de estos residuos de alimentos en Colombia, terminan como basura y solo una pequeña cantidad son aprovechados en el relleno municipal para la elaboración de compostaje y biogás o a nivel de finca para la alimentación de cerdos, despreciando su riqueza en compuestos bioactivos que comprenden un excelente conjunto de moléculas utilizadas para la producción de alimentos funcionales o bajo procesos de biorefinerías, aprovecharlos para la obtención de productos químicos y materiales de valor comercial como lo son los ácidos orgánicos, bioplásticos y biopolímeros, celulosa, quitina y quitosano, biosurfactantes, biolubricantes y nanopartículas, generando un valor agregado importante (Gómez & Yory, 2018; Kumar et al., 2017; Monterrosa, 2019; Pulido & Núñez, 2021; Vargas et al., 2019).

Principales Compuestos Bioactivos Utilizados para el Desarrollo de Alimentos Funcionales

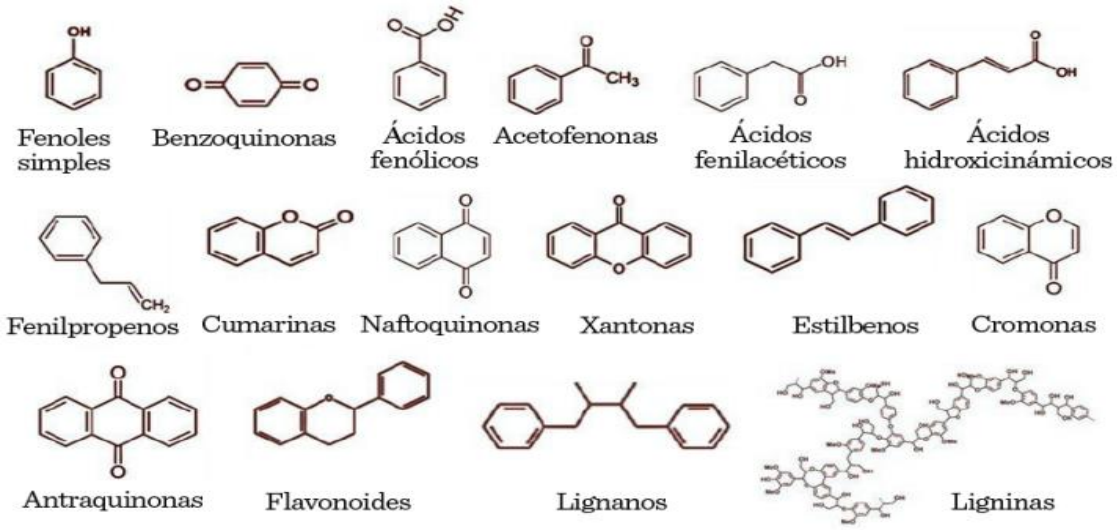
Existen diferentes estudios donde se ha utilizado los residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su aplicación en el diseño de nuevos alimentos

funcionales. El interés se centra en la gran cantidad de compuestos bioactivos presentes en estos residuos que pueden ser utilizados como aditivos naturales con diferentes actividades (antioxidantes, antipardeamiento, antimicrobianos, colorantes, texturizantes, etc.) (Ancos et al., 2015; Kainat et al., 2022).

Uno de los principales compuestos bioactivos estudiados son los polifenoles con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Vodnar et al., 2019). Las cuatro clases principales de polifenoles que se encuentran en los subproductos de frutas y verduras son los ácidos fenólicos, los flavonoides, los lignanos y los estilbenos (Kheirkhah et al., 2019), su estructura básica se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Estructura química básica de las principales clases de polifenoles



Fuente. (Lizárraga-Velázquez & Hernández, 2018).

Los ácidos fenólicos se dividen en ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico. Los ácidos hidroxicinámicos son más comunes que los ácidos hidroxibenzoicos, e incluyen principalmente ácido gálico, ácido p-cumárico, ácidos cafeico y clorogénico, y también ácidos ferúlico y sinápico (Coman et al., 2020; Vojvodić et al., 2020).

Los flavonoides son los compuestos fenólicos más numerosos en los productos vegetales y se dividen en varias subclases: flavonoles, flavonas, flavan-3-oles, flavanonas, antocianidinas e isoflavonas, y otros componentes menores de la dieta como las cumarinas o las chalconas (Muñoz et al., 2021). Los principales flavonoles dietéticos, kaempferol, quercetina, isorhamnetina y miricetina, se encuentran más comúnmente como O-glucósidos (Coman et al., 2020).

También las flavonas como la apigenina y el laúd olina se presentan como 7-O-glucósidos. Los flavan-3-oles van desde monómeros simples (+)-catequina y su isómero (-)-epicatequina, que pueden hidroxilarse para formar galocatequinas y también sufrir esterificación con ácido gálico, hasta estructuras complejas que incluyen proantocianidinas oligoméricas y poliméricas, que son también conocidos como taninos condensados (Peña, 2018; Vargas et al., 2019).

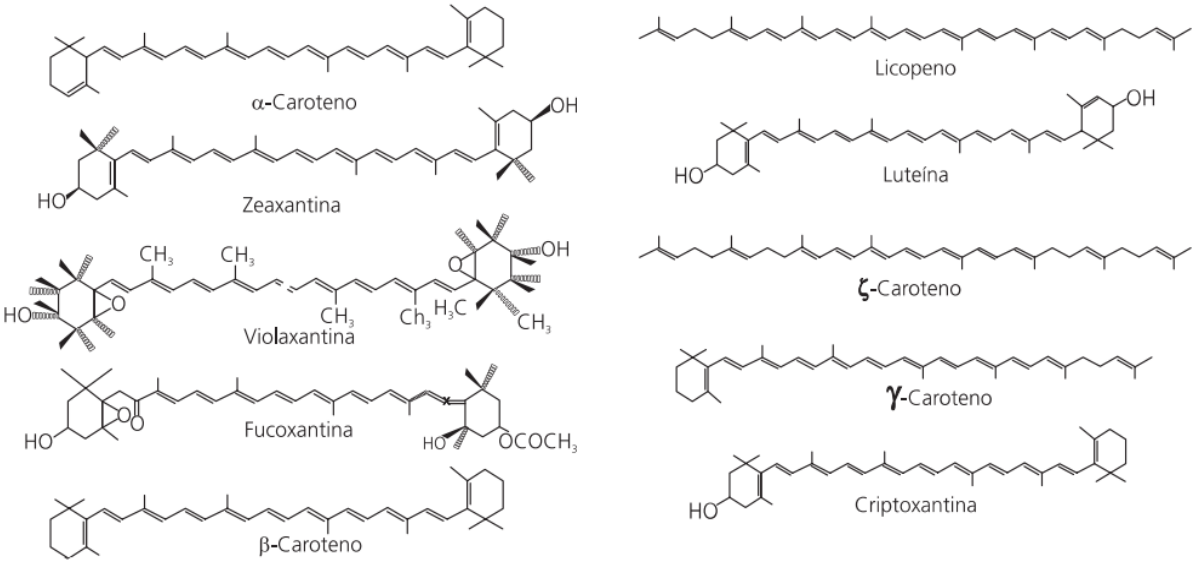
Las antocianidinas más comunes son gonidina pelar, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvidina, que se encuentran invariablemente como conjugados de azúcar conocidos como antocianinas (Cornejo-Figueroa et al., 2020). Las flavanonas están presentes en concentraciones, especialmente el glucósido de flavanona es hesperetina-7-O-rutinosido (hesperidina) junto con narigenina-7- O-rutinosido (narirutina). Los principales estilbenoides que se encuentran en los alimentos de origen vegetal son el resveratrol y sus glucósidos (Coman et al., 2020).

En cuanto a los carotenoides estos se dividen en carotenos y xantofilas, su estructura se puede apreciar en la figura 2. Los carotenos consisten sólo en átomos de carbono e hidrógeno; el betacaroteno y el licopeno, presentes principalmente en zanahorias y tomates, son los carotenos más comunes. Las xantofilas tienen uno o más átomos de oxígeno; la luteína es una

de las xantofilas más comunes (Noce et al., 2021). El licopeno es el principal carotenoide que se puede obtener de los residuos de frutas y verduras (Strati & Oreopoulou, 2011).

Figura 2

Estructura química de algunos carotenoides



Fuente. (Ambrósio et al., 2006).

Los residuos de frutas y verduras también tienen un alto contenido en fibra dietética con numerosas funciones fisiológicas beneficiosas. La fibra dietética insoluble actúa principalmente en el tracto intestinal para producir peristaltismo mecánico, mientras que la fibra dietética soluble también puede influir en el metabolismo de los carbohidratos y los lípidos disponibles (Hussain et al., 2020; Noce et al., 2021). Estas fibras pueden ser utilizados como ingredientes funcionales.

Entre los residuos de frutas y verduras más estudiados se encuentran: la manzana, el kiwi, cerezas, frambuesas, moras, arándanos, melocotón, bananas, frutas cítricas, uvas, guayaba, mango, palmera, granada, zanahoria, tomate, cebolla, maní, arroz, trigo, entre otros.

En la tabla 1, se puede apreciar un resumen de los residuos estudiados y los compuestos activos extraídos.

Tabla 1

Componentes bioactivos extraídos de diferentes residuos de frutas y verduras

Fuente	Residuo	Componente bioactivo	Referencia
Manzana	Piel, orujo y pulpa	Epicatequina, catequinas, antocianinas, glucósidos de quercetina, ácidos clorogénicos, hidroxicinamatos, glucósidos de floretina, rocianidinas, polisacáridos, polifenoles	Lu & Foo (1997). Pingret et al (2012). X. Wang et al (2014). Wolfe & Liu (2003). Yeap Foo & Lu (1999).
Kiwi	Orujo	Compuestos fenólicos como: catequina, ácido clorogénico, ácido p-cumárico, ácido protocatéquico y ácido cafeico	Kheirkhah et al (2019).
Fresas, cerezas, frambuesas, moras, arándanos	Orujos	Polifenoles, Cianidina 3-O-glucósido	Laroze et al (2010). Manna et al (2015).
Melocotón	Semillas	Polifenoles	Agostini et al (2012).
Banana	Cáscara	Compuestos fenólicos, Gallocatequina, antocianinas, delfinidina, cianuración, catecolaminas	Kanazawa y Sakakibara, (2000). González-Montelongo et al (2010). Vu et al (2017).
Frutas cítricas	Cáscara	Hesperidina, naringina, eriocitrina, narirutina, polisacáridos, limoneno	Coll et al (1998). Prakash Maran et al (2013). Quoc et al (2015). Seixas et al (2014). Ozturk et al (2019).

Uvas	Semilla y piel	Ácido cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico, clorogénico ácido, ácido cinámico, ácido neoclorogénico, ácido p-hidroxibenzoico, ácido protocatéquico, ácido vanílico, ácido gálico, proantocianidinas, quercetina 3-o-glucurónido, quercetina, resveratrol, lípidos y polifenoles	Shrikhande (2000). Negro et al (2003). Prado et al (2012). Agostini et al (2012).
Guayaba	Piel y semillas	Catequina, cianidina 3-glucósido, galangina, ácido gálico, ácido homogentísico, kaempferol	Deng et al (2012).
Mango	Núcleo	Ácido gálico, ácido elágico, galatos, galotaninos, taninos condensados	Puravankara et al (2000).
Palmera	Subproductos de la molienda de aceite de palma	Tocoferoles, tocotrienoles, esteroles y escualeno, antioxidantes.	Tan et al (2007). Choo et al (1996).
Granada	Cáscara y pericarpio	Ácido gálico, cianidina-3,5-diglucósido, cianidina-3-diglucósido, delfinidina-3,5-diglucósido	Noda et al (2002). Gil et al (2000).
Zanahoria	Piel	Fenoles, betacaroteno	Chantaro et al (2008).
Tomate	Piel y orujo	Carotenoides, fibra y licopeno	Strati & Oreopoulou (2011).
Cebolla	Piel	Polifenoles, quercetina	Kim et al (2019). Vojvodić Cebin et al (2020)
Maní	Piel	Polifenoles	Ballard et al (2010).
Arroz	Salvado	Tocoferoles y tocotrienoles (tococromanoles) y orizanoles (tipo feruloil sterol), aceite de salvado	Perretti et al (2007). Oliveira et al (2012).
Trigo	Salvado, germen	Ácidos fenólicos, antioxidantes	J. Wang et al (2008).

Fuente. Adaptado de Cornejo-Figueroa et al., 2020; Kainat et al., 2022; Kumar et al., 2017**.**

Técnicas para la Extracción de Compuestos Bioactivos a Partir de Residuos de Frutas y Verduras

Tecnologías de Extracción Convencionales

Según Jiménez-Moreno et al (2019) las técnicas de extracción convencionales más utilizadas incluyen la destilación, con vapor, la extracción con disolventes y la extracción ácida o básica. La mayoría se basan en la extracción por solventes (Jiménez-Moreno et al., 2019). Entre todas estas técnicas se pueden destacar la extracción Soxhlet, la maceración y la hidrodestilación. A pesar de ser ampliamente utilizadas, las técnicas convencionales presentan importantes limitaciones: (i) bajas tasas de extracción; (ii) la necesidad de costosos solventes orgánicos de alta pureza y frecuentemente peligrosos, cuando los compuestos objetivo tienen baja polaridad; (iii) baja selectividad; (iv) riesgo de pérdida de compuestos volátiles; y (v) los altos costos de energía asociados a la evaporación de grandes volúmenes de líquidos para la recuperación y el reciclaje de solventes (Wong-paz et al., 2020).

Extracción con Solventes. Utiliza solventes orgánicos para realizar la extracción, el principal problema de esta técnica es la toxicidad de los solventes y la posible degradación térmica de los componentes bioactivos naturales durante las altas temperaturas que alcanzan los disolventes durante los largos procesos de extracción. Mediante esta técnica se han extraído antioxidantes como carotenoides y polifenoles (Kumar et al., 2017; Mendoza Garnica, 2019).

Tecnologías Emergentes de Extracción

Para superar los inconvenientes presentados por las tecnologías de extracción convencionales, un número importante de estudios se ha centrado en el desarrollo de tecnologías alternativas centradas en el uso de procesos no térmicos para evitar el riesgo de

sobrecalentamiento de la matriz (Wong-paz et al., 2020). Los principales desafíos derivados de las tecnologías emergentes están relacionados con su escalamiento e implementación en estrategias integrales de valorización. Entre estas se encuentran:

Extracción con Fluidos Supercríticos. Es una técnica amigable con el medio ambiente. El dióxido de carbono supercrítico es una alternativa atractiva a los disolventes orgánicos, ya que no es explosivo, no es tóxico y es económico. Con la extracción con fluidos supercríticos se han obtenido: catequina, epicatequina, flavonoides, polifenoles, procianidinas y tocoferoles (Cornejo-Figueroa et al., 2020; Sharan & Madan, 2018).

Extracción con Agua Subcrítica. Es una técnica alternativa nueva para la extracción de compuestos fenólicos de diferentes alimentos. El agua subcrítica se refiere al agua a una temperatura entre 100 ºC a 374 ºC y una presión lo suficientemente alta como para mantener el estado líquido por debajo de la presión crítica de 22 Mpa. Con esta técnica se han obtenido: ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido cumárico, ácido ferúlico, ácido gálico y mangiferina (Cornejo-Figueroa et al., 2020; Juarez, 2021).

Extracción Asistida por Microondas. Es una nueva técnica que combina la extracción por microondas y la tradicional con solventes, presenta un mejor tiempo de extracción, mayor tasa de extracción y menor requerimiento de solventes. Bajo esta técnica se obtienen: catequinas, mangiferina, componentes fenólicos, polifenoles, flavonoles y saponinas (Arana, 2020; Kumar et al., 2017; Solarte, 2020).

Extracción Mediante Ultrasonido. Se considera una técnica sencilla y eficaz en comparación con las técnicas tradicionales de extracción de compuestos bioactivos. El ultrasonido induce una mayor difusión del disolvente en los materiales celulares, mejorando así la transferencia de masa, facilitando la liberación de compuestos bioactivos. El rendimiento de la extracción está muy influenciado por la frecuencia del ultrasonido,

dependiendo de la naturaleza del material vegetal a extraer. Con esta técnica se extraen: antocianinas, ácido clorogénico, catequinas, polifenoles, saponinas, flavonoides y β-glucano (Kumar et al., 2017; Reche, 2018; Santos Lopes et al., 2021).

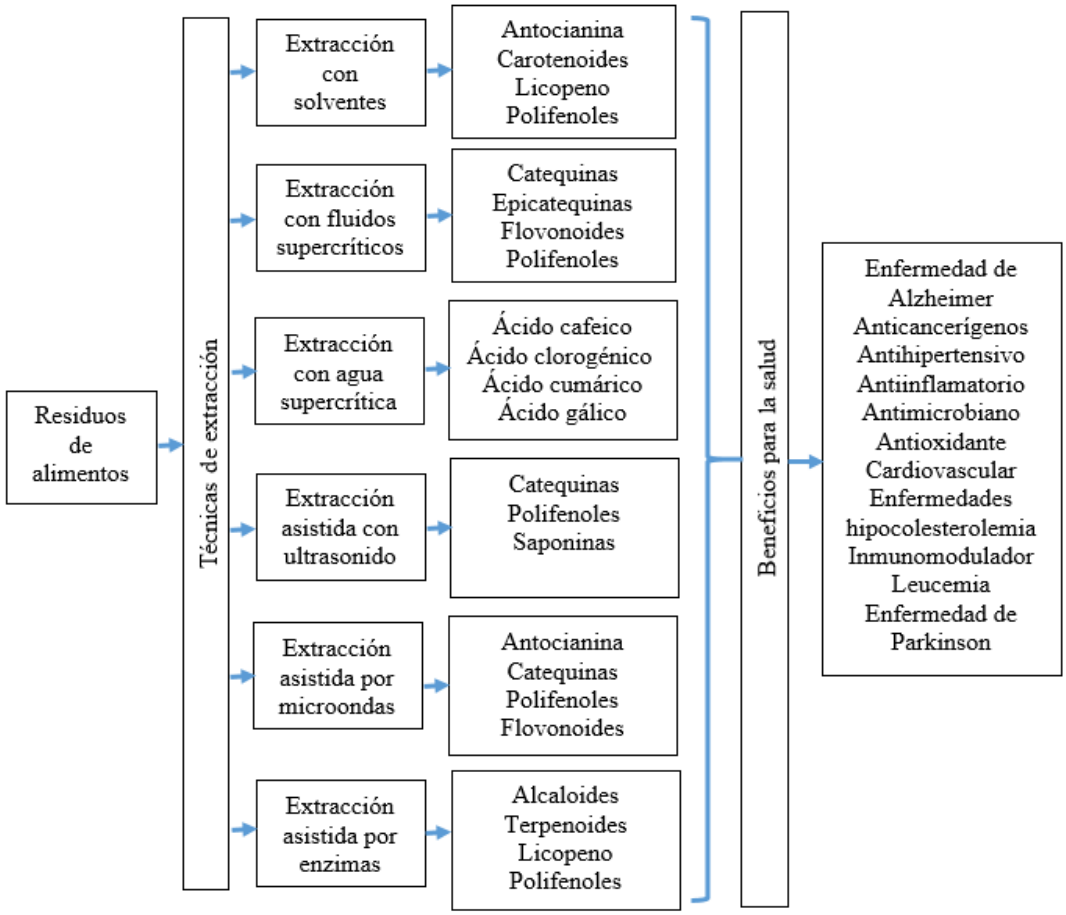
Extracción Asistida por Enzimas. En esta técnica se utiliza una amplia variedad de enzimas como: celulasa, glucosidasa, xilanasa, gluconasa y pectinasa. Estas enzimas ayudan a degradar la estructura de la pared celular y despolimerizar los polisacáridos de la pared celular vegetal lo que facilita la liberación del compuesto de interés. Con esta técnica se obtienen: alcaloides, ácido gálico, cumarinas, flavonoides, flavanoles, lectinas, licopeno, polifenoles y terpenoides (Bonilla, 2021; Calderón, 2020; Domínguez et al., 2020).

Uso de Compuestos Bioactivos

Los compuestos bioactivos actualmente se están utilizando para el beneficio de la salud, entre sus aplicaciones según Kainat et al (2022), se tiene: tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, tratamiento contra el cáncer, medicamentos para la hipertensión, antiinflamatorios, antioxidantes, tratamiento de enfermedades cardiovasculares, cataratas, hipocolesterolémicos, hipolipidémico, inmunomoduladores, para el tratamiento de la leucemia y la enfermedad de Parkinson. En la figura 3, se aprecian las técnicas de extracción, los compuestos bioactivos obtenidos y los tratamientos en salud.

Figura 3

Diferentes técnicas para la extracción de compuestos bioactivos de los residuos de alimentos y sus beneficios para la salud



Fuente. Kainat et al., 2022.

Uso de Compuestos Bioactivos en la Industria Alimentaria

Debido al gran potencial que tienen los diferentes compuestos bioactivos para mejorar el contenido nutricional y prolongar la vida útil (capacidad antimicrobiana y actividad antioxidante), su incorporación en la formulación de diferentes alimentos es cada vez más estudiada. En la industria cárnica, debido a la necesidad de mantener y prolongar la vida útil de la carne y sus productos, la mayoría de los trabajos se centran en utilizar los compuestos bioactivos como antioxidantes, antimicrobianos y como sustitutos del

contenido de grasa (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022). En la industria láctea los compuestos bioactivos han sido utilizados como prebióticos, antioxidantes, micronutrientes y ácidos grasos insaturados mediante la adición directa o la encapsulación del compuesto, logrando productos con mejor valor nutricional y mejor efecto en la salud (Villamil et al., 2020). En la industria panificadora, los estudios con compuestos bioactivos apuntan a aumentar la capacidad antioxidante y el contenido de fibra, buscando así disminuir la cantidad de harina de trigo, mejorando la digestibilidad y logrando productos funcionales con valor añadido (Mostafa, 2021). Pese a estos avances, los principales problemas encontrados se centran en que la incorporación de compuestos bioactivos extraídos de frutas y verduras pueden ocasionar cambios sensoriales que se deben estudiar para mantener la aceptación del consumidor (Szabo et al., 2018).

Metodología

Dado que el objetivo de estudio que persiguió la monografía fue identificar metodologías de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos útiles en la elaboración de alimentos funcionales, mediante la revisión de fuentes secundarias; este trabajo tiene un enfoque cuantitativo-descriptivo de tipo transversal y a su vez retrospectivo, ya que, para desarrollar cada uno de los objetivos propuestos se realizó la selección y análisis de artículos científicos, artículos de revisión, capítulos de libros y documentos de sesión, consultando como bases de datos Web of Science (WoS) y Scopus, mediante ecuaciones de búsqueda; con el propósito de estructurar tres capítulos que hacen parte de la monografía. Se utilizó conjuntamente WoS y Scopus, porque facilitan el acceso del conocimiento y, además, estas bases de datos son referentes a nivel internacional (Echchakoui, 2020; Pranckute, 2021; Zhu & Liu, 2020).

La revisión incluyó artículos publicados entre 2015 y 2023 en revistas, libros o memorias de congresos, en idioma español o inglés. Para facilitar la selección y organización de los documentos de consulta se utilizó la Bibliometría. Para el trabajo de monografía propuesto se trabajó con la herramienta Bibliometrix con R Studio, el cual es uno de los últimos programas de código abierto más utilizados, desarrollada para analizar y filtrar los campos más importantes de la literatura científica en temas específicos (Acevedo et al., 2020; Hurtado et al., 2020; Secinaro et al., 2022).

Se tomó como base la metodología seguida por Rabelo, 2023 y Zupic & Čater, 2015, quienes aplicaron en sus trabajos estudios de revisión bibliográfica utilizando el software R Studio.

La metodología a seguir para lograr cada uno de los objetivos planteados fue la siguiente:

Para el *objetivo 1: Describir el actual panorama de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras, identificando los principales compuestos bioactivos estudiados para el desarrollo de alimentos funcionales mediante el análisis bibliométrico con R Studio de la producción científica desarrollada*, se siguieron las siguientes etapas para la recolección de la información y desarrollo del mismo:

1. Elaboración de la ecuación de búsqueda.
2. Definición de criterios de búsqueda.
3. Descargar el software R Studio con los paquetes de bibliometrix.
4. Realizar la búsqueda de la información en la base de datos Scopus y WoS teniendo en cuenta la ecuación desarrollada y los criterios de búsqueda (ver tabla 2).
5. Descargar las semillas (datos encontrados).
6. Analizar las semillas en el programa R Studio.
7. Descargar la información suministrada por el Software.
8. Analizar la información suministrada teniendo en cuenta los 5 procesos bibliométricos (análisis de citas, co-ocurrencia de palabras, cocitaciones, de coautores y de acoplamiento bibliográfico), escogiendo y analizando los trabajos más relevantes (Zupic & Čater, 2015).
9. Redactar el primer capítulo de la monografía.

Para desarrollar el *objetivo 2: Compilar las diferentes técnicas convencionales, emergentes y futuras para la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos de frutas y verduras* y el *objetivo 3: Identificar aplicaciones industriales ya establecidas y futuras tendencias de compuestos bioactivos obtenidos de residuos de frutas y verduras en alimentos funcionales*, debido a que el análisis bibliométrico no permitió analizar y filtrar los campos más importantes de la literatura científica en estos temas específicos (se encontró

que los artículos arrojados no eran relevantes para desarrollar el objetivo propuesto), las etapas para la recolección de la información y desarrollo de los mismos se realizó mediante:

1. Elaboración de la ecuación de búsqueda
2. Definición de criterios de búsqueda.
3. Realizar la búsqueda de la información en la base de datos Scopus y WoS teniendo en cuenta la ecuación desarrollada y los criterios de búsqueda (ver tablas 3 y 4).
4. Escoger y analizar los trabajos más sobresalientes teniendo en cuenta: objetivo, metodología, resultados encontrados, conclusiones y prospectivas.
5. Redactar los capítulos 2 y 3 de la monografía.

Tabla 2

Criterios de búsqueda utilizados para el desarrollo del objetivo específico No 1

Base de datos	Web of science	Scopus
Periodo de consulta	2015 – 2023.	
Fecha de consulta	9/5/2023	
Criterios de búsqueda	Título de artículo, resumen y palabra clave	
Tipo de documentos	Artículos científicos, artículos de revisión, capítulos de libros y documentos de sesión	
Tipo de revistas	Todas	
Ecuación de búsqueda	(("waste") and ("fruits" or "vegetables") and ("bioactive compounds" or "bioactive components" or "phytochemicals" or "phenolic compounds" or "polyphenols" or "phenolic acids" or "flavonoids" or "lignans" or "hydroxybenzoic acids" or "hydroxybenzoic acids" or "gallic acid" or "coumaric acid" or "caffeic acids" or "ferulic acids" or "flavonols" or "flavones" or "flavanones" or "anthocyanidins" or "isoflavones" or "anthocyanidins" or "carotenoids" or "stilbenes" or "ternenoids" or "sulfur compounds") and ("functional foods"))	
Resultados	65	318
Total	383	
Repetidos	32	
Articulos para revisar	351	

Fuente. Autores

Tabla 3

Criterios de búsqueda utilizados para el desarrollo del objetivo específico No 2

Base de datos	Web of science	Scopus
Periodo de consulta	2015 – 2023.	
Fecha de consulta	13/7/2023	
Criterios de búsqueda	Título de artículo, resumen y palabra clave	
Tipo de documentos	Artículos científicos, artículos de revisión, capítulos de libros y documentos de sesión	
Tipo de revistas	Todas	
Ecuación de búsqueda	("extraction methods" OR "solvent extraction" OR "distillation extraction" OR "Supercritical Solvent Extraction" OR "ultrasound assisted extraction" OR "Subcritical water extraction" OR "microwave assisted extraction" OR "enzyme assisted extraction") AND ("waste") AND ("fruit" OR "vegetable") AND ("bioactive compounds" OR "bioactive components") AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR > 2013	
Resultados	139	135
Total	274	
Repetidos	50	
Articulos para revisar	224	

Fuente. Autores

Tabla 4

Criterios de búsqueda utilizados para el desarrollo del objetivo específico No 3

Base de datos	Web of science	Scopus
Periodo de consulta	2015 – 2023.	
Fecha de consulta	5/9/2023	
Criterios de búsqueda	Título de artículo, resumen y palabra clave	
Tipo de documentos	Artículos científicos, artículos de revisión, capítulos de libros y documentos de sesión	
Tipo de revistas	Todas	
Ecuación de búsqueda	(("waste") and ("fruits" or "vegetables") and ("bioactive compounds" or "bioactive components" or "phytochemicals" or "phenolic compounds" or "polyphenols" or "phenolic acids" or "flavonoids" or "lignans" or "hydroxybenzoic acids" or "hydroxybenzoic acids" or "gallic acid" or "coumaric acid" or "caffeic acids" or "ferulic acids" or "flavonols" or "flavones" or "flavanones" or "anthocyanidins" or "isoflavones" or "anthocyanidins" or "carotenoids" or "stilbenes" or "ternenoids" or "sulfur compounds") and ("dairy products" or "bakery products" or "meat products"))	
Resultados	25	61
Total	86	
Repetidos	5	

Articulos para revisar	81

Fuente. Autores

Resultados

Capítulo 1. Panorama del Aprovechamiento de Residuos de Frutas y Verduras en la Obtención de Compuestos Bioactivos

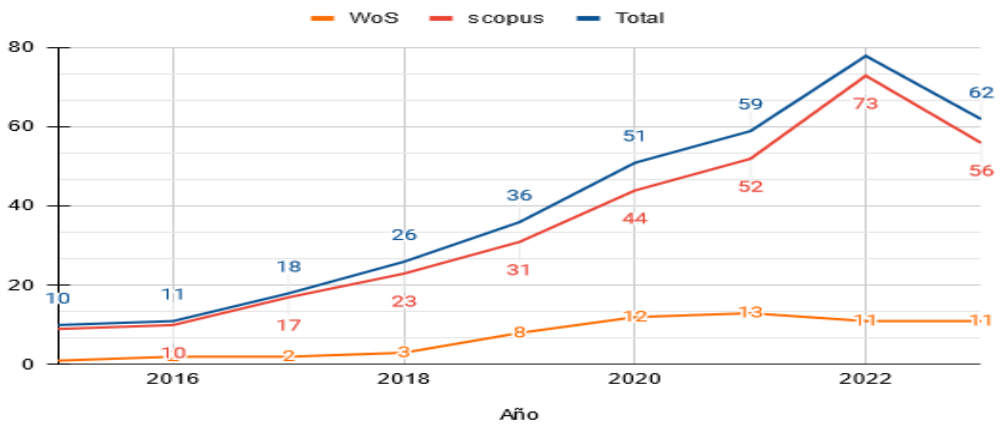
Producción científica del aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la extracción de compuestos bioactivos y su aplicación en alimentos funcionales

Análisis histórico de la producción científica

El número de publicaciones científicas sobre el aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la extracción de compuestos bioactivos y su aplicación en alimentos funcionales se muestra en la figura 4. Se identificaron un total de 351 documentos científicos consultados en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS). En este período, el número de artículos del campo de investigación aumentó un 620%, pasando de 10 en 2015 a 62 en 2023, lo que representa una tasa de aumento anual aproximada del 25,6%. Estos datos reflejan el creciente interés por este campo en los ámbitos académicos y científicos durante los últimos 9 años.

Figura 4

Histórico de publicaciones científicas, años 2015 y 2023



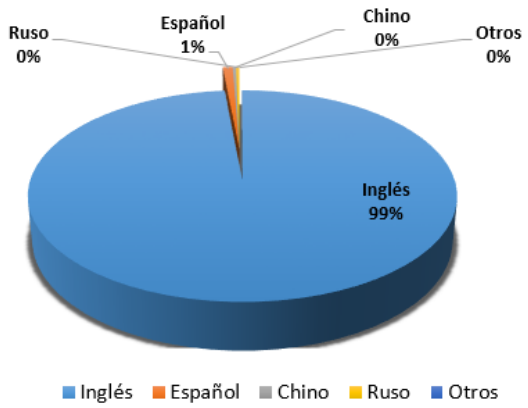
Fuente. Autores

Idioma de las publicaciones

Como se puede apreciar en la figura 5, el 99% de los trabajos consultados (346 artículos) sobre el tema del aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la extracción de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales se encuentran en inglés, un 1% (3 artículos) se encuentran en español y representando menos del 1% encontramos 1 artículo en chino y 1 artículo en ruso.

Figura 5

Idiomas de publicaciones científicas, años 2015 y 2023



Fuente. Autores

Análisis de países

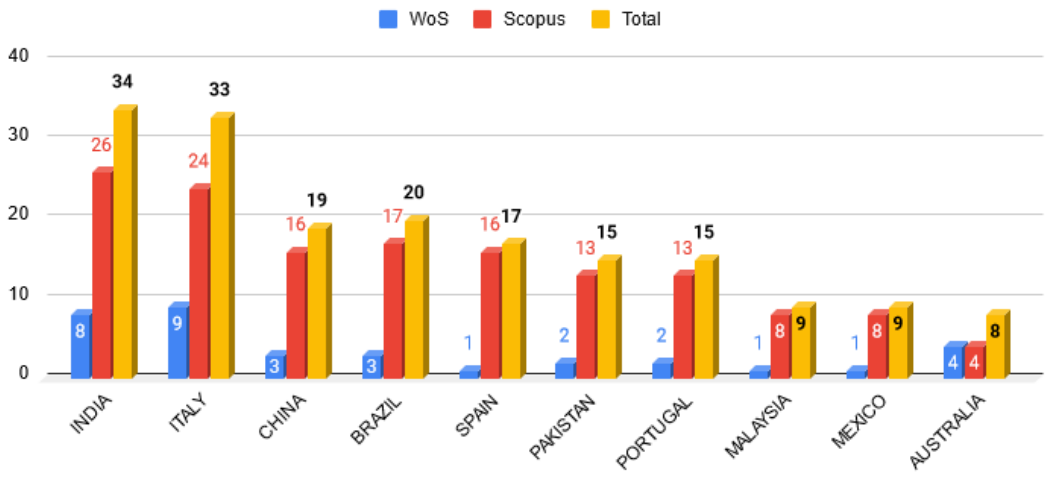
En la figura 6, se puede apreciar los 10 principales países que a nivel mundial lideran la producción científica en el área del aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos. India lidera el primer lugar con 34 publicaciones (13,9%), seguido por Italia con 33 (13,5%), China con 19 (7,8%), Brasil con 20 (8,2%), España con 17 (6,9%), Pakistán y Portugal con 15 publicaciones (6,1%), Malasia y México con 9 publicaciones (3,7%) y Australia con 8 (3,3%). Se resalta a Brasil

y México como representantes sudamericanos que ocupan el cuarto y noveno puesto respectivamente.

De los 10 países, 4 son asiáticos con un total de 77 publicaciones (31,6%), 3 son europeos con un total de 65 publicaciones (26,5%), 2 de América del sur con un total de 29 publicaciones (11,9%) y 1 de Australia con un total de 8 publicaciones (3,3%). Estos 10 primeros países representan el 73,2% de la producción mundial de publicaciones científicas referente al tema aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales.

Figura 6

Producción científica por país, años 2015 y 2023



Fuente. Autores

Análisis de autores

En la Tabla 5, se aprecian los 10 autores con mayor número de trabajos en el tema del aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y sus usos en alimentos funcionales, publicaciones registradas en WoS y Scopus,

además se puede analizar el número de citaciones y el índice - H el cual mide la producción de cada autor (Hirsch, 2005).

En cuanto al número de citaciones, lidera la lista Farag, Mohamed Ali, vinculado a la Universidad Americana del Cairo – Egipto (6 publicaciones, 14.108 citaciones y un índice H de 56), seguido por Lorenzo, José Manuel, vinculado a la Universidad de Vigo – España (5 publicaciones, 33.364 citaciones y un índice H de 90) y Cristian Vodnar, Dan Cristian de la Universitatea de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara din Cluj-Napoca – Rumania (5 publicaciones, 8.159 citaciones y un índice H de 51). A partir del 4 puesto, los autores tienen un total de 4 publicaciones como: Ferreira, Isabel C.F.R, vinculada al Instituto Politécnico de Braganca - Portugal (45.920 citaciones y un índice H de 103), Màrtín-Belloso, Olga M, vinculada a la Universidad de Lleida - España (28.577 citaciones y un índice H de 92), Barros, Lillian del instituto politecnico de Braganca - Portugal (28.512 citaciones y un índice H de 84), Segura Carretero, A, de la Universidad de Granada – España (23.689 citaciones y un índice H de 82), Pintado, M. Estevez, vinculado con la Universidad Católica Portuguesa – Portugal (20.774 citaciones y un índice H de 72), Kumar, Manoj E. Vijay, del Instituto Central de Investigación sobre Tecnología del Algodón – India (6.302 citaciones y un índice H de 42) y Khalid, Waseem de la Universidad de Lahore – Pakistán (838 citaciones y un índice H de 17). Finalmente se puede apreciar que, así como disminuye el número de citaciones también disminuye el índice - H.

Tabla 5

Autores más relevantes, años 2015 y 2023

Autores	Total de publicaciones	Scopus			WoS
		Publicaciones	Citaciones	H- Index	Publicaciones
Farag, Mohamed Ali	6	6	14.108	56	0
Lorenzo, José Manuel.	5	5	33.364	90	0
Cristian Vodnar, Dan Cristian	5	5	8.159	51	0
Ferreira, Isabel C.F.R.	4	4	45.920	103	0
Màrtín-Belloso, Olga M.	4	4	28.577	92	0
Barros, Lillian	4	4	28.512	84	0
Segura Carretero, A.	4	4	23.689	82	0
Pintado, M. Estevez	4	4	20.774	72	0
Kumar, Manoj E. Vijay	4	4	6.302	42	0
Khalid, Waseem	4	4	838	17	0

Fuente. Autores

Análisis de revistas

En la tabla 6, se aprecia las 10 revistas con mayor cantidad de publicaciones sobre el tema de aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales. Se relaciona además las bases de datos consultadas (Scopus y WoS), con la cantidad de artículos encontrados en cada revista, el porcentaje de participación y datos propios de cada revista como el cuartil, el factor de impacto (SJR 2023), el H – Index y el país de procedencia.

El 80% de las revistas están categorizadas en Q_1. La revista que más publicaciones aporta al tema tratado, es la Journal of Food Processing and Preservation de Estados Unidos con un total de 15 publicaciones, seguida de Food Chemistry del Reino Unido con 6 publicaciones y antioxidants de Suiza con 5 publicaciones. Las revistas Journal of Food Biochemistry, Food and Function, Food Research International, Innovative Food Science

and Emerging Technologies y Food Research, aportan cada una 4 publicaciones, mientras que Frontiers in Nutrition y Journal of Functional Foods con 3 publicaciones cada una.

De las 10 revistas principales, el 50% de estas son del Reino Unido, un 20% de Suiza, 10% de Estados Unidos y el 20% restante de Malasia y Países Bajos. La revista que reporta el H- Index más alto según los datos ofrecidos por el Scimago Journal and Country Rank (SJR) es la Food Chemistry (H- Index de 324); esta revista además tiene el Índice SJR más alto con un valor de 1.75. Teniendo en cuenta que los valores H – Índices e índice SJR son altos en estas 10 revistas, podemos decir que éstas, generan impacto dentro de la comunidad científica.

Tabla 6

Revistas más relevantes, años 2015 y 2023

Revista	WoS	Scopus	Total	Porcentaje	Cuartil	SJR (2023)	H - Index	Pais
Journal of Food Processing And Preservation	NA	15	15	0.06	Q_2	0.51	63	Estados Unidos
Food Chemistry	NA	6	6	0.02	Q_1	1.75	324	Reino Unido
Antioxidants	1	4	5	0.02	Q_1	1.22	106	Suiza
Journal of Food Biochemistry	1	3	4	0.02	Q_1	0.7	64	Reino Unido
Food And Function	NA	4	4	0.02	Q_1	1.07	117	Reino Unido
Food Research International	NA	4	4	0.02	Q_1	1.5	212	Reino Unido
Innovative Food Science And Emerging Technologies	NA	4	4	0.02	Q_1	1.38	143	Países Bajos
Food Research	NA	4	4	0.02	Q_3	0.21	68	Malasia
Frontiers In Nutrition	1	2	3	0.01	Q_1	0.83	77	Suiza
Journal of Functional Foods	2	1	3	0.01	Q_1	0.9	125	Reino Unido

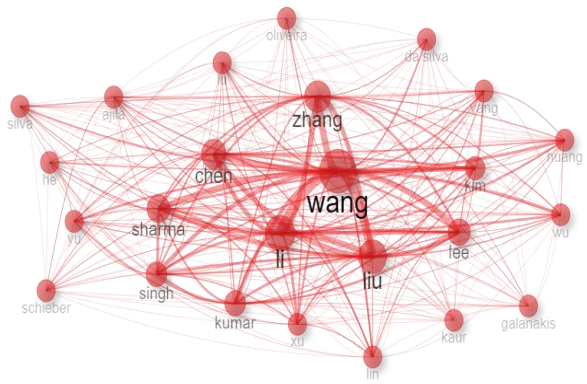
Fuente. Autores

Análisis de redes

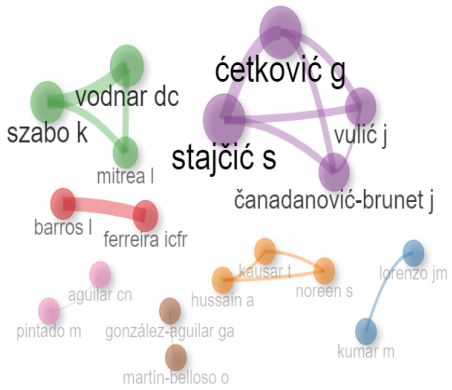
En las figuras 7, se aprecia los 4 componentes importantes que integran el análisis bibliográfico de redes: Co-citación de autores (A), Colaboración de autores (B), Red de colaboración de países (C) y Red de Co-ocurrencia de palabras claves (D).

Figura 7

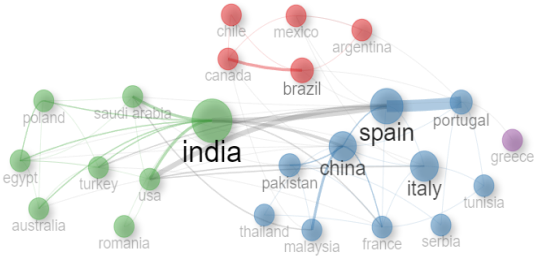
Redes: Co-citación de autores, colaboración de autores, colaboración de países y Co-ocurrencia de palabras claves, años 2015 y 2023



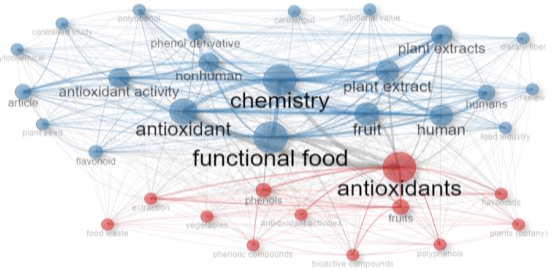
Red de Co-citación de autores (A)



Red de Colaboración de autores (B)



Red de colaboración de países (C)



Red de Co-ocurrencia de palabras claves (D)

Fuente. Autores

En la red de co-citación de autores, se puede observar los autores más citados, para este caso particular Wang, Li, Liu, Zhang, Chen y Sharma los cuales por el tamaño de letra que presenta esta figura, tienen la mayor cantidad de referencias.

En la red de colaboración de autores, se observan 7 grupos. En el primer grupo está integrado por Ćetković Gordana S, Stajčić Sladjana M, anadanović-Brunet Jasna M y Vulić J, este grupo resalta porque tiene el mayor vínculo literario. El segundo grupo está integrado por 3 autores: Vodnar Dan-Cristian, Szabo Katalin y Mitrea Laura. El tercer grupo está conformado igualmente por 3 autores: Kausar Tusneem, Hussain Ashiq y Noreen S. Los demás grupos sólo tienen interacción entre dos autores.

En la red de colaboración entre países, es notorio apreciar que la India es el país con mayor producción científica en el tema del aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales, seguido de España, Italia, Portugal y Brasil. India tiene una estrecha colaboración con Arabia Saudita, Polonia, Egipto, Australia, Rumania, Estados Unidos y Turquía. España tiene colaboración con China, Portugal, Italia, Pakistán, Tailandia, Malasia, Francia, Serbia, Túnez y Grecia. Como país sudamericano podemos apreciar que Brasil ha tenido estrecha colaboración con Canadá, Chile, México y Argentina.

En el último componente, la red de co-ocurrencia de palabras claves, se puede apreciar dos grupos, el primero de color azul donde se resaltan las palabras “alimento funcional”, “química” y “antioxidantes” y en el segundo grupo de color rojo, sobresale la palabra “antioxidantes”.

Compuestos Bioactivos Extraídos de Residuos de Frutas y Verduras

Los residuos de frutas y verduras son ricos en diferentes compuestos bioactivos entre los cuales se encuentran: fibra dietética, vitaminas, minerales y fitoquímicos que pertenecen a los compuestos: fenólicos, terpénicos, organosulfurados y nitrogenados (alcaloides), siendo los compuestos fenólicos, los compuestos terpénicos y la fibra dietética los más estudiados para su uso en alimentos funcionales (Gámez, 2020; Noce et al., 2021).

Compuestos Fenólicos

Los compuestos fenólicos desde el punto de vista estructural tienen en común un anillo aromático que lleva uno o más grupos hidroxilo (Tlais et al., 2020). La concentración de polifenoles por lo general es mayor en los residuos de frutas y verduras que en la parte comestible, siendo los ácidos fenólicos, los flavonoides y los taninos los compuestos fenólicos más abundantes (Chamorro et al., 2022; Kainat et al., 2022). Estos compuestos son altamente estudiados por su capacidad para eliminar los radicales libres y prevenir reacciones oxidativas en los alimentos, lo que los convierte en candidatos para reemplazar a los conservantes sintéticos, además tienen una excelente capacidad para prevenir el daño celular y oxidativo (Akter & Rabeta, 2021; Elbadrawy & Sello, 2016; Stajčić et al., 2015).

Los ácidos fenólicos (ácidos fenolcarboxílicos), han atraído un gran interés debido a los benéficos presentados sobre la salud frente al tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas y por sus atributos sensoriales como la astringencia, color y sabor en el desarrollo de diferentes alimentos (Tlais et al., 2020). Los ácidos fenólicos se dividen en ácidos hidroxicinámicos y ácidos hidroxibenzoicos, siendo los primeros generalmente los más abundantes en los residuos de frutas y verduras (Peña-Torres et al., 2019). El ácido cafeico, ácido ferúlico sinápico y p-cumárico son los representantes más comunes de los ácidos hidroxicinámicos, mientras que el ácido p-hidroxibenzoico, el ácido vanílico y el protocatequiico representan a los ácidos hidroxibenzoicos (Lim et al., 2019; Mwaurah et al., 2020).

Los flavonoides tienen una estructura general de 15 carbonos con dos anillos aromáticos, unidos a través de una cadena de tres carbonos, formando un anillo heterocíclico (Tlais et al., 2020). Entre los flavonoides presentes en los residuos de frutas y verduras se encuentran los flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas, flavonoles y

antocianinas (Farag et al., 2020; Olfa et al., 2021; Ordoñez-Torres et al., 2021; Safdar et al., 2017). Debido a su potencial redox presenta una alta capacidad antioxidante, permitiéndolos actuar como agentes reductores y extintores de hidrogeno, actúan como agentes protectores contra la hipertensión, el cáncer y enfermedades inflamatorias y presentan una alta actividad antimicrobiana por su capacidad de formar complejos con proteínas extracelulares solubles y con las paredes celulares de las bacterias (Liu et al., 2021; Rafiq et al., 2018; Tocmo et al., 2020).

Por otra parte, los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua que interactúan con soluciones acuosas de proteínas formando precipitados insolubles (Tlais et al., 2020). Según sus características estructurales los taninos se dividen en galotaninos, elagitaninos, taninos complejos y taninos condensados, siendo la epicatequina y la catequina los taninos condensados más estudiados en los residuos de frutas y verduras (Olfa et al., 2021). Debido a sus múltiples hidroxilos fenólicos presentan una buena actividad antioxidante capaz de reducir la concentración de radicales libres, de igual manera, presentan actividad antimicrobiana debida a la inhibición de actividades enzimáticas, el agotamiento de iones metálicos y la precipitación de proteínas de membrana, sin embargo, poseen efectos antinutricionales que se deben considerar (Ordoñez-Torres *et al*., 2021).

Compuestos Terpénicos

Entre los compuestos terpénicos se encuentran carotenoides, fitosteroles, tocoferoles, betalaínas, monoterpenos y saponinas (Tlais et al., 2020). Los carotenoides son pigmentos que se encuentran en los cloroplastos y cromoplastos de las frutas y verduras (Farag et al., 2020; Szabo et al., 2018). Se dividen en dos grupos: las xantofilas y carotenos, que difieren sólo en su contenido de oxígeno (Tlais et al., 2020). Como ejemplo de xantofilas podemos mencionar a la luteína y la zeaxantina que se encuentra en las hojas

verdes oscuras de los vegetales y las ß-criptoxantina que se encuentra en frutas como naranjas, papaya y mandarinas y como ejemplo de carotenos podemos citar a los ß-caroteno y α-carotenos presentes en la zanahoria y mango y el licopeno presente en tomate, papaya, pomelo y sandia (Gallo et al., 2019; Stajčić et al., 2015; Szabo et al., 2018).

El interés de estudiar a los carotenoides radica en que son precursores de la vitamina A, además el presentar en su estructura dobles enlaces conjugados, le permiten tener una reactividad química con los radicales libres permitiendo suprimir su daño, reduciendo así el riesgo de desarrollar cáncer, mejora las funciones del sistema inmunológico, previene la formación de cataratas y la deficiencia de vitamina A (Previtera et al., 2016; Szabo et al., 2018).

Los fitoesteroles se encuentran en casi todos los vegetales y en una mayor proporción en semillas oleaginosas, aceites, cereales, legumbres y frutos secos (Silva et al., 2016). Son ampliamente estudiados porque ayudan a mantener y reducir los niveles de colesterol total y de colesterol malo (colesterol-LDL), sin reducir el nivel de colesterol bueno (colesterol-HDL), como ejemplos podemos mencionar el sitosterol, estigmasterol y campesterol (Farag et al., 2020; Zayed et al., 2021).

Los tocoferoles son vitaminas liposolubles, que generalmente se le encuentra asociada a los componentes lipídicos de las paredes celulares, su principal representante es la vitamina E (Mojica & Pérez, 2019). Su acción antioxidante se debe al poder de neutralizar los radicales libres, propiedad anticancerígena de alta importancia (Cornejo-Figueroa et al., 2020). Las principales fuentes de tocoferoles y vitamina E son las nueces como el maní, las almendras o las avellanas, las semillas de aceites vegetales como el maíz, la soya o girasol y vegetales como espinaca y brócoli (López-Astorga et al., 2023).

Las betalainas, las cuales son derivados del ácido betalámico, son solubles en agua y se clasifican en: betacianinas, responsables de colores rojo – purpura y betaxantinas responsables de colores amarillos – anaranjados en semillas, frutos, flores, hojas, cáscara, tallos y raíces de las plantas; de igual manera, estos compuestos terpénicos también poseen capacidad antioxidante (Mamani & Molina, 2023).

Uno de los mono terpenos más estudiados de los residuos de frutas es el limoneno, el cual representa más del 90% de los aceites de la piel de las frutas cítricas. Su extracción es llevada a cabo en frio o a presión, obteniendo el aceite esencial muy apetecido en la industria de los aromas y las fragancias o por su buena capacidad antioxidante (Colina-Márquez et al., 2022; Ortega, 2020).

Por otra parte, las saponinas están presentes en todas las plantas del genero Asparagus como por ejemplo en el esparrago, siendo las principales responsables del sabor amargo – dulce característico (Rosales & Vílchez, 2022). Las investigaciones han determinado que las saponinas disminuyen el colesterol LDL en animales y en humanos, por lo que sus principios activos son útiles en el control de la de la hipercolesterolemia, hiperlipidemia, hiperglucemia y obesidad (Ahumada et al., 2016).

Compuestos Organosulfurados

Los compuestos organosulfurados o también conocidos como compuestos azufrados son moléculas que contienen átomos de azufre en su estructura química (Tlais et al., 2020). En cebolla, ajo y puerro se encuentra la alicina y compuestos organosulfuros responsables de sabor picante, en brócoli y pimientos la cisteína y en brócoli y coliflor el sulforafano (Azcona, 2016). El isotiocianato sulforafano, es un glocosinalato fruto del hidrolisis de la glucorafanina, es el compuesto organosulfurados mas estudiado en los residuos del brócoli porque posee antividades antiiinflamatorias, antioxidantes y efecto antiproliferativo

(Baenas et al., 2017). Los compuestos organosulfurados poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias (Fayos et al., 2018).

Compuestos Nitrogenados

Los compuestos nitrogenados son biomoléculas que contienen nitrógeno (Tlais et al., 2020). Estos compuestos son biológicamente muy activos y tienen como principal problema su toxicidad aun en cantidades muy bajas, como es el caso de la solanina, presente en tomates verdes inmaduros, en los brotes de papas, en las semillas de los pimientos y en las berenjenas inmaduras (Ordóñez, 2019).

Fibra

La fibra (fibra dietética) es un polisacárido no amiláceo conformado de 10 o más unidades monoméricas son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, y con fermentación completa o parcial en el intestino grueso (Tlais et al., 2020). La fibra de los residuos de frutas y verduras presentan numerosas ventajas para la salud entre las que se encuentran una mejora de la función intestinal, la reducción del riesgo de enfermedades cardiacas y diabetes tipo 2 (Kainat et al., 2022; Lasano et al., 2019; Rafiq et al., 2018).

Vitaminas y Minerales

Los residuos de frutas y verduras son fuente de vitaminas como A, E, K y C y de minerales antioxidantes como el Ca, Cu, Zn, Mn y Se, compuestos bioactivos que tienen efectos positivos frente a la salud al fortalecer el sistema inmunológico protegiendo al cuerpo contra enfermedades (Elbadrawy & Sello, 2016; Mwaurah et al., 2020).

Acidos Grasos Poliinsaturados

Los ácidos grasos poliinsaturados hacen parte de la grasa considerada saludable. Se han encontrado este tipo de ácidos grasos en residuos de verduras, nueces y semillas, así como también en aceites vegetales (Surco-Laos et al., 2023). Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados se encuentra el omega -3 y omega-6; ácidos grasos esenciales ya que el organismo humano no los puede sintetizar (Zayed et al., 2021). Los omega-3 incluyen los ácido alfa-linolénico, eicosapentanoico, docosapentanoico y docosahexanoico, mientras que en el omega-6 los ácidos linoleicos, gamma-linolénico, dihomo-gamma-linolénico, ácido araquidónico y ácido adrénico (Elbadrawy & Sello, 2016; Surco-Laos et al., 2023).

Entre los beneficios que se atribuyen a los ácidos poliinsaturados se incluyen su capacidad para prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, ayudan a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos, reducen la presión arterial y la inflamación, refuerzan el sistema inmunológico y permiten una mejor absorción de vitaminas liposolubles (Surco-Laos et al., 2023).

Principales Residuos Estudiados para la Obtención de Compuestos Bioactivos

Teniendo en cuenta la gran cantidad de residuos de frutas y verduras generados a nivel mundial, el interés sobre el aprovechamiento de estos para la obtención de compuestos bioactivos se centra en 4 *clusters* principales: (i) aprovechamiento de los residuos del tomate, (ii) aprovechamiento de residuos del mango, (iii) aprovechamiento de los residuos generados por los cítricos y (iv) aprovechamiento de los residuos de otras frutas y verduras. A continuación, se describe cada *clusters*.

Aprovechamiento de Residuos del Tomate

Las investigaciones en esta área son pioneras y se centran en el aprovechamiento de las cáscaras y orujo (formado por cáscaras y semillas con pequeñas cantidades de pulpa).

Cáscaras de Tomate. Las cáscaras de tomate contienen aproximadamente 100,8 g de proteína, 256,4 g de ceniza, 786 g de carbohidratos y 299,4 g de fibra por cada kg de producto seco y es fuente de licopeno (734 µg/g de material seco), luteína, ß-caroteno y cis-ß-caroteno (Elbadrawy & Sello, 2016; Knoblich et al., 2005). Los residuos de cáscara de tomate contienen 2,5 veces más licopeno que el que se encuentra en la pulpa, representando entre el 80 - 90% del contenido total de carotenoides (George et al., 2004). Contiene una gran cantidad de minerales antioxidantes entre los cuales se encuentran Ca, Cu, Zn, Mn y Se (Elbadrawy & Sello, 2016).

Son fuente de ácidos grasos insaturados como: ácido linoleico (52,41%), ácido oleico (19,14%), ácido linolénico (4,26%) y palmitoleico (1,82%) y ácidos saturados como: palmítico (15,19%), ácido esteárico (6,84%) y ácido mirístico (0,34%), de aminoácidos esenciales como: leucina, valina, lisina, arginina, isoleucina, fenilalanina y metionina y de aminoácidos no esenciales como: ácido glutámico, alanina, glicina, tirosina, cisteína y ácido aspártico y es fuente de ácidos fenólicos como: ácido procaticoico (5,52), ácido gálico (3,38) vainíllico (3,31), catequeína (2,98) y cafeico (0,50) mg/100 g (Elbadrawy & Sello, 2016).

Orujo de Tomate. El orujo de tomate puede utilizarse como fuente potencial de fibra y proteína ya que presenta una composición promedio de 59,03% de fibra, 25,73% de azúcares totales, 19,27% de proteínas, 7,55% de pectinas, 5,85% de grasas totales y 3,92% de minerales en peso seco. La fibra de tomate puede proporcionar hasta un 80% de la fibra total dietética, dato que indica que su contenido de fibra es mayor a los reportados por otros residuos vegetales (Szabo et al., 2018). Las semillas secas extraídas del orujo contienen 202,3 g de proteína, 51,8 g de ceniza y 537,9 g de fibra por Kg de producto seco, 130 µg de licopeno/g de material seco y el contenido de otros carotenoides es la mitad del que

contiene la cáscara (Knoblich et al., 2005). En pieles y semillas de tomate los ß-caroteno se encuentran en aproximadamente 149,8 mg/Kg de producto seco (Szabo et al., 2018).

Aprovechamiento de Residuos del Mango

En este *cluster* aparecen varios estudios que utilizan el aprovechamiento de la cáscara y la semilla del mango.

Cáscara de Mango. La cáscara de mango es rica en fibra dietética, celulosa, hemicelulosa, lípidos, proteínas, enzimas, minerales, antioxidantes (compuestos fenólicos, mangiferina, kaempferol, quercetina, antocianinas), mono y diterpenos, enzimas, vitamina E y vitamina C (Jahurul et al., 2015). La cantidad de polifenoles varía dependiendo de las variedades de mango y la técnica de extracción seleccionada, como, por ejemplo: Peng et al (2019), identificaron 98 polifenoles en los extractos de la cáscara de mango Keitt y Kensington Pride, encontrando que la cáscara de Keitt presenta concentraciones más altas de compuestos fenólicos totales, flavonoides y taninos, al igual que una mayor capacidad antioxidantes en comparación con la cáscara de mango Kensington Pride. En las dos variedades los compuestos fenólicos predominantes fueron la catequina (62,32 ± 0,01 mg/g de producto seco) y el ácido siríngico (17,78 ± 0,01 mg/g de producto seco); por otra parte Safdar et al (2017), mediante extracción por ultrasonido extrajeron una cantidad máxima de polifenoles de 67,58 mg de equivalente ácido gálico (GAE)/g de extracto, siendo el ácido cumárico y el ácido fenólico los compuestos bioactivos más abundantes de los extractos de la cáscara de mango, seguidos del ácido gálico, ácido ferúlico y epicatequina, siendo la mirecetina el flavonoide encontrado en menor proporción. Ordoñez-Torres et al (2021), extrajeron polifenoles de la cáscara de mango variedad Ataulfo, utilizando tecnologías de ultrasonido y microondas, logrando un total de polifenoles de 54,15 mg/g, identificando 9 compuestos polifenólicos de los cuales la mayoría fueron del tipo galotaninos.

Los responsables del color en la cáscara de mango son las antocianinas y carotenoides, cuyos valores cambian dependiendo del grado de maduración (360 a 365 mg/100g y 194 a 436 µg/g de carotenoides en cáscaras maduras, mientras que las cáscaras inmaduras tienen 90,18 a 109,7 mg/g de polifenoles) (Jahurul et al., 2015).

El componente bioactivo más prominente de la cáscara es la mangiferina, encontrando cantidades de 7,2 ± 0,2 mg/g de mangiferina y de ß-caroteno de 80,3 ± 5,7% en los extractos etanólicos de la variedad de mango Chaunsa (Jahurul et al., 2015). La cáscara de *Mangifera odorata L* (híbrido entre mango y *Mangifera foetida*) presenta valores altos en potasio, azufre, aluminio, calcio, manganeso, hierro y boro, es rica en carotenoides, ácido ascórbico y α-tocoferol, su piel contiene mangiferina, naringenina e isovitexina (Lasano et al., 2019).

Semilla de Mango. Las semillas de mango son una fuente de macronutrientes y micronutrientes que incluyen el calcio, potasio, magnesio, fósforo y vitaminas A, E, K y C, posee fitoquímicos como tocoferoles, fitoesteroles, carotenoides, polifenoles (galotaninos, flavonoles, derivados de la benzofenona, mangiferina, homomangiferina, isomangiferina, antocianinas, kaempferol y quercetina) y ácidos fenólicos (ácidos 4-cafeoilquínicos, ácido protocatequílico, cafeico, ácido cumárico, elágico, gálico, ferúlico y penta-O-galoil-ß-D-glucosa) (Lim et al., 2019; Mwaurah et al., 2020). El hueso del mango presenta una cantidad entre 32,34% a 76,81% de carbohidratos, 6% a 15,2% de grasa, 6,36% a 10,02% de proteína, 0,26% a 4,69% de fibra cruda y 1,46% a 3,71% de ceniza en peso seco (Mwaurah et al., 2020).

Además, contiene almidón, fibra y es una buena fuente de grasa ya que tienen ácido palmítico, esteárico, ácido oleico y linoleico. Su contenido de proteína en la semilla es bajo, pero su calidad es muy alta ya que es rica en todos los aminoácidos esenciales como la

leucina, arginina, valina, histidina, lisina, isoleucina, treonina y fenilalanina (Jahurul et al., 2015). Por otra parte, la semilla de la *Mangifera odorata L* (híbrido entre mango y *Mangifera foetida*) es buena fuente de carbohidratos, proteínas, grasa, cenizas, magnesio, fósforo y zinc y contiene ß-glucogaliina, teogalina y ácido 2- hidroxi-3,4 – dimetoxibenzoico (Lasano et al., 2019).

Aprovechamiento de los Residuos de los Cítricos

En esta área los trabajos realizados se fundamentan en el aprovechamiento de residuos de la cáscara, las semillas y el orujo de las frutas cítricas como: limón, naranja, toronja, mandarina y lima.

Cáscara de Cítricos. Las cáscaras de cítricos son ricas en flavonoides, limonoides como el limoneno, alcaloides, polifenoles, vitaminas, minerales, fibras dietéticas, minerales, aceite esencial, carotenoides y pectina (Liu et al., 2021; Rafiq et al., 2018). Los flavonoides se presentan como: glucósidos C de flavona, glucósidos O de flavona y polimetoxifalvonas (PMF), siendo los principales flavonoides (flavononas y flavonas) la hesperidina, la tangeretina, la naringina y la nobiletina (Liu et al., 2021; Olfa et al., 2021). Los ácidos cítrico y málico son los principales ácidos orgánicos presentes en las cáscaras y en una menor proporción se encuentran el ácido oxálico, tartárico y succínico (Farag et al., 2020).

En los residuos de la toronja (cidra en algunos países), se encuentran varios compuestos bioactivos entre los que se encuentran iso-limoneno, citral, limoneno, compuestos fenólicos, flavononas, vitamina C, pectina, linalool, decanal y nonanal (Chhikara et al., 2018). En los residuos del pomelo, la cáscara representa el 30% del peso de la fruta, encontrándose aceites esenciales, polisacáridos y fitoquímicos como aromas

activos volátiles, pectinas, flavonoides, ácidos fenólicos, carotenoides, cumarinas y polisacáridos (Tocmo et al., 2020).

Los residuos de la naranja (dulces y amargas) contienen monosacáridos y disacáridos como glucosa, rutinosa y neohesperidosa, siendo las naranjas dulces las que presentan niveles más altos de azúcares simples (Farag et al., 2020; Olfa et al., 2021).

Semillas de Cítricos. El aprovechamiento de las semillas de los cítricos es un campo poco estudiado, sin embargo, se ha encontrado que las semillas de naranjas dulces y amargas presentan buenas cantidades de aceites y fitoesteroles, carotenoides y tocoferoles (Farag et al., 2020). En el caso de la mandarina (C reticulata), el aceite de semillas presenta altos rendimientos en aceite y ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y el ácido oleico (Zayed et al., 2021).

Orujo. En el orujo de naranjas dulces se ha encontrado ácido ferúlico y p-cumárico, ácidos que no se encuentran en las naranjas amargas, además las naranjas dulces presentan carotenoides como epoxicarotenoides y xantofilas, que se encuentran en abundancia y fibras dietéticas como la naringenina y la hesperetina (Farag et al., 2020). El contenido de compuestos bioactivos puede variar dependiendo del estado de madurez y la estación del año, por ejemplo, se encontró en extractos metabólicos de residuos de naranja verdes de verano una mayor concentración naringina (952 ± 125 mg/g de residuos), neohesperidina (867 ± 107 mg/g de residuos) y p- sinefrina (554 ± 125 mg/g de residuos) que en residuos con otros estados de madurez y estaciones del año (Estrada-Sierra et al., 2022).

Aprovechamiento de los Residuos de otras Frutas y Verduras

En este *cluster* se encuentran diferentes investigaciones realizadas a residuos de frutas y verduras que no hacen parte de los anteriores, entre ellas podemos describir las siguientes:

Orujo de Uva. El orujo de uva obtenida de procesos de vinificación es fuente rica en azúcares, vitaminas, minerales, polifenoles y macromoléculas como la celulosa, almidón, lignina, lípidos y enzimas. En estos residuos predominan compuestos fenólicos como las antocianinas (malvidina, pentunidina, cianidina, peonidina y delfinidina), ácido hidroxibenzoico y ácidos hidroxicinámicos, flavonoles, los flavan-3-oles y los estilbenos; compuestos bioactivos distribuidos en un 10% en la pulpa, un 60% en las semillas y un 30% en las pieles (Bordiga et al., 2019). Las cáscaras y semillas de uva son ricas en antioxidantes entre los cuales sobresalen los compuestos fenólicos como el ácido gálico, cianidina 3- glucósido, epicatequina, galato de catequina y resveratrol (Akter & Rabeta, 2021).

Residuos de la Piña. Los residuos de la piña son ricos en carbohidratos (66–88%), fibra insoluble (16–28 %), fibra soluble (2–4 %) y minerales (4–5 %) (Santos & Santana, 2022). De tallos y cáscaras de piña se extrae bromelina (enzima con acción proteolítica), llegando a recuperar del 80 al 90% de bromelina activa para jugos (tallos y cáscara) lo que equivale a 0,3 g de bromelina/100 g de subproductos de piña (Campos et al., 2019). Los residuos de la piña poseen características prebióticas por ser buena fuente de carbono, el cual está presente en los carbohidratos y fibras, por lo tanto, se consideran una alternativa de crecimiento nutricional con costos más bajo que los tradicionales (Akter & Rabeta, 2021).

Cáscara y Pulpa de Plátano. La harina de plátano es un material sin gluten, rico en almidón, polisacáridos, especialmente fibra dietética (6,0–15,5%) y carbohidratos no digeribles como el almidón resistente y contiene compuestos bioactivos como fenólicos, ácidos y minerales (Martínez-Castaño et al., 2020). Las cáscaras de plátano son una fuente de compuestos bioactivos naturales, principalmente antioxidantes como compuestos fenólicos, antocianinas, carotenoides, esteroles y triterpenos y catecolaminas, en cantidades más altas que los que contiene la pulpa (Akter & Rabeta, 2021; Ortiz et al., 2017). De igual manera, los extractos de cáscara de plátano tienen una alta capacidad para eliminar los radicales libres e inhibir la peroxidación lipídica debido a su alto contenido de compuestos fenólicos (2,2 ± 0,1 g de equivalentes de ácido gálico/100 g de cáscara de plátano en base a materia seca) y catecolaminas (265 ± 52 y 30 ± 1 mg /100 g de cáscara de plátano, dopamina y L-dopa, respectivamente) (Ortiz et al., 2017).

Hojas de Olivo. El compuesto fenólico más representativo de las hojas de olivo es el secoiridoide oleuropeína, seguido del verbascósido, la apigenina-7-O-glucósido, la luteolina-7-O-glucósido y los fenoles simples (Difonzo et al., 2021). La atención prestada a estos compuestos se debe sobre todo al gran número de estudios que demuestran su efecto beneficioso para la salud (Kurt & Ceylan, 2017). En la industria alimentaria su interés es creciente debido a que estos compuestos bioactivos presentan excelentes efectos como antioxidantes naturales y efectos antimicrobianos contra *Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Escherichia coli, Klebsiella pneumonia, Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella typhumurium* (Shalaby et al., 2018).

Cáscaras de Granada. Las cáscaras en la granada representan aproximadamente el 40% de la fruta entera (Morsy et al., 2018). Los extractos de cáscara de granada presentan antioxidantes con una alta eficiencia en la eliminación de radicales libres e inhiben la

oxidación del colesterol malo (LDL), además presenta una buena actividad antibacteriana contra *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Bacillus cereus, Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* por lo que se ha utilizado para el desarrollo de alimentos funcionales en la industria cárnica, láctea y de panadería (Ismail et al., 2016; Mahajan et al., 2015; Morsy et al., 2018; Sandhya et al., 2018).

Hojas y Tallos del Brócoli. Las hojas del brócoli que representan el 15% de la biomasa aérea total, poseen un alto contenido de nutrientes (proteínas, vitamina C, minerales y oligoelementos) y compuestos bioactivos (glucosinolatos, ácidos fenólicos y flavonoides); aunque se perciben como un producto de desecho, pueden consumirse como un producto fresco valioso o como fuente de fitonutrientes (Krupa-Kozak et al., 2021). De igual manera, las hojas y tallos, contienen grandes cantidades de compuestos que promueven la salud, incluida la fibra dietética, vitaminas, glucosinolatos y compuestos fenólicos con alto potencial antioxidante (Lafarga et al., 2019). Esta bondad ha permitido su uso en el desarrollo de productos de panadería sin gluten como panes y productos horneados.

Importancia de Compuestos Bioactivos Sobre la Salud

Muchas enfermedades son debidas al estrés oxidativo, proceso que ocurre debido a un exceso de radicales libres y a la falta de antioxidantes para combatirlos. Los radicales libres se producen en el cuerpo como resultado de reacciones biológicas que ocurren en las células, siendo necesarios para mantener un buen estado de salud, sin embargo, el aumento de los radicales libres y de oxígeno en el cuerpo de manera incontrolables y la falta de antioxidantes para neutralizarlos dañan las moléculas, alterando los procesos celulares causando envejecimiento y enfermedades como el cáncer, cataratas, enfermedades

cardiovasculares, trastornos neurodegenerativos (parkinson, alzheimer) y otras enfermedades debido al estilo de vida (Kainat et al., 2022; Kumar et al., 2017).

El conjunto de radicales libres que pueden ocasionar daños oxidativos se denominan Especies Reactivas de Oxigeno (ROS) e incluyen los iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos tanto orgánicos como inorgánicos, siendo el anión superóxido (O_2^-) el radical hidroxilo (OH) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) los tres principales ROS de importancia fisiológica (Carvajal, 2020).

En este orden de ideas, los residuos de frutas y verduras son fuentes de compuestos bioactivos con excelentes propiedades antioxidantes debida a la presencia de vitaminas A, C y E, minerales como Ca, Cu, Zn, Mn y Se y polifenoles como los flavonoides (Elbadrawy & Sello, 2016; Jamanca & Alfaro, 2017). Su efecto antioxidante es debido a su capacidad de eliminar radicales hidroxilos (OH), anión superóxido (O_2^-) y oxígeno (O_2), disminuyendo de esta manera la actividad oxidativa y de radicales libres al ser secuestrantes de oxígeno y quelantes, lo que los convierte en compuestos útiles para la prevención y el tratamiento de las enfermedades producidas por el estrés oxidativo (Akter & Rabeta, 2021; Jahurul et al., 2015).

De igual manera, estos compuestos bioactivos además de presentar excelentes propiedades antioxidantes, también presentan actividades cardioprotectoras, antiinflamatorias, antidiabéticas, antiobesidad, antitumorales, neuroprotectoras, gastroprotectoras, anticoagulantes, antitrombóticos, hipocolesterolémicas, anticancerígenas, antivirales, anticatarral, protector capilar, antihipertensivas, diuréticas, antibacterianas, antifúngicas, antihelmínticas, antimicrobianas, analgésicas, antidiabéticas, estrogénicas y antiulcerosas, entre otras, convirtiéndose en una alternativa para el tratamiento de diferentes enfermedades y con un campo muy prometedor en la elaboración de alimentos funcionales

(Akter & Rabeta, 2021; Chhikara et al., 2018; Farag et al., 2020; Imran et al., 2016; Jahurul et al., 2015; Kumar et al., 2017; Lebaka et al., 2021).

Los efectos metabólicos mencionados anteriormente debidos a diferentes compuestos bioactivos presentes en los residuos de frutas y verduras, se pueden apreciar en la tabla 7.

Tabla 7

Compuestos bioactivos extraídos de diferentes residuos de frutas y verduras, efecto metabólico y efecto sobre la salud

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
Ácidos fenólicos: Ácido procaticoico Ácido gálico Ácido vainíllico Catequinas Ácido cafeico.	Actividad antioxidante y capacidad de eliminar radicales libres.	Protegen el cuerpo contra el cáncer (estudios in vitro e in vivo).	Cáscara de tomate	Elbadrawy & Sello (2016).
Minerales antioxidantes: Ca, Cu, Zn, Mn y Se.	Propiedades antioxidantes.	Protegen el cuerpo contra el cáncer. Agentes protectores para enfermedades cardiovasculares (estudios in vitro e in vivo).		
Ácidos grasos insaturados: Ácido linoleico Ácido oleico. Ácido linolénico Ácido palmitoleico	Agente cardiovascular.	Protección contra las enfermedades cardiovasculares (estudios in vitro e in vivo).		
Carotenoides: Licopeno ß-caroteno α-caroteno Luteína Zeaxantina ß-criptoxantina	Actividad antioxidante y anti proliferación	Protegen las células y los tejidos del daño oxidativo (estudios in vitro e in vivo). El licopeno presenta protección contra el cáncer, enfermedades cardiovasculares y mejora del sistema inmunológico (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas). La luteína y la zeaxantina previenen la degradación muscular y enfermedades oculares de la edad (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Pieles, semillas, orujo y jugo de tomate.	Previtera et al (2016). Stajčić et al (2015). Szabo et al (2018).

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
		El ß-caroteno es la provitamina A más importante, previene la ceguera y muerte prematura (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		
Galato de etilo. Penta -o- galoil-glucósido.	Actividad de eliminación de radicales hidroxilos (OH), anión superóxido (O_2^-) y oxígeno (O_2).	Actividades antitumorales, antioxidantes, anticardiovasculares y hepatoprotectoras (estudios in vitro e in vivo).	Cáscara y semilla del mango	Imran et al (2016). Jahurul et al (2015). Kumar et al (2017). Lebaka et al (2021).
Ácido protocatequílico (Acido 3,4 – dihidroxibenzoico) kaempferol. Linalol, Mangiferina. ß-quercetina. Caroteno ß-caroteno.	Actividad antioxidante	Beneficios potenciales en cánceres de cerebro, pulmón, cuello uterino, próstata, leucemia y mama (estudios in vitro e in vivo).		
5-(11Z-Heptadecenil)-resorcinol. 5-(8, Z,11, Z-Heptadecadienil)-resorcinol. Kaempferol. Mangiferina. Ácido shikímico.	Actividad antiinflamatoria	Inhiben la producción de mediadores inflamatorios. Modulan la respuesta inmune para disminuir la inflamación (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		
Kaempferol. Mangiferina. Quercetina.	Actividad microbiana	Potencial para combatir infecciones causadas por bacterias, hongos y virus (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
Ácido protocatequilico. Kaempferol. Ácido protocatequilico. ß-mangiferina. Caroteno. Quercetina.	Actividad antidiabética y anti obesidad.	Control de la diabetes y obesidad (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		
Kaempferol. Linalool. Mangiferina. ß-quercetina. Ácido protocatequilico. Ácido gálico. Mangiferina.	Actividad citotóxica y apoptótica.	Beneficios potenciales para controlar la proliferación celular descontrolada debida al cáncer y otras enfermedades (estudios in vitro e in vivo).		
Linalol. Mangiferina	Actividad neuroprotectora.	Protección de células nerviosas (neuronas) del daño de procesos neurodegenerativos, estrés oxidativo o inflamación (estudios in vitro e in vivo).		
Mangiferina	Propiedades cardioprotectoras y gastroprotectoras	Protección contra enfermedades cardiovasculares y gástricas (estudios in vitro e in vivo).		
Ácido shikímico.	Propiedades anticoagulantes y antitrombóticos.	Modulan la coagulación sanguínea y prevenir la formación coágulos sanguíneos (trombos) (estudios in vitro e in vivo).		

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
Quercetina	Actividad para bajar la presión arterial	Reducen y estabilizan la presión arterial (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		
Carotenoides Ácido ascórbico α-tocoferol. Naringenina. Isovitexina. ß-glucogaliina, Teogalina. Ácido 2- hidroxi-3,4 – dimetoxibenzoico.	Excelente actividad inhibidora de la α-amilasa y la α-glucosidasa. Propiedades antidiabéticas	Control de la diabetes (estudios in vitro e in vivo).	Cáscara y semillas de Mangifera odorata L.	Lasano et al (2019).
Polifenoles. Fibras dietéticas. Aceites esenciales. Carotenoides		Efectos quimiopreventivos del cáncer, antiinflamatorio, neuroprotector y anti *Helicobacter pylori* (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Cáscaras de cítricos	Liu et al (2021). Olfa et al (2021). Rafiq et al (2018).
Ácido generiloxiferúlico. Ácido boropínico. Flavanonas. Flavonas: Hesperidina. Tangeretina, Naringina Nobiletina	Propiedades anticancerígenas, antivirales y antiinflamatorias, reduce la fragilidad capilar y restringe la agregación plaquetaria humana.	Reducen el riesgo de enfermedades coronarias, hipertensión, actúan como agentes anticancerígenos y antiinflamatorios (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		
Polimetoxifalvonas (PMF).	Presentan bioactividades más fuertes que otros metabolitos secundarios, permitiendo ser utilizadas en formulaciones de productos para prevenir la diabetes y la obesidad	Control de la diabetes y obesidad (estudios in vitro e in vivo).		

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
Iso-limoneno Citral. Limoneno. Compuestos fenólicos. Flavononas. Vitamina C. Pectina. Linalool Decanal. Nonanal	Anticatarral, protector capilar, antihipertensivo, diurético, antibacteriano, antifúngico, antihelmíntico, antimicrobiano, analgésico, antioxidante, anticancerígeno, antidiabético, estrogénico, antiulceroso, cardioprotector y antihiperglucemiante	Efectos protectores contra diabetes, cáncer, hipercolesterolemia y otras enfermedades oxidativas (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Cáscara y hojas de toronja (cidra)	Chhikara et al (2018).
Flavanonas: Hesperidina, naringina y neohesperidina. Flavonas: apigenina, diosmetina y luteolina. Polimetoxiflavanonas: nebiletina, sinensetina y tangeretina. Antocianinas: Cianidina y delfinidina.	Potencial antioxidante.	Efectos anticáncer, antimicrobianos, antioxidantes, antiinflamatorios, protectores del corazón y acciones antialérgico (estudios in vitro e in vivo).	Residuos de naranja	Farag et al (2020).
Naringenina. Hesperetina Fibras dietéticas.		Efectos de hepatoprotección, acción hipocolesterolemiante (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).		
Aceite de semilla.	Reduce la glucosa en sangre, los triglicéridos séricos, el colesterol y	Actividad antidiabética (estudios in vitro e in vivo).		

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
	aumenta el colesterol HDL.			
Ácido ascórbico, glucósidos de flavona, ácidos hidroxicinámicos y antocianinas.		Efectos anti obesidad (estudios in vitro e in vivo).		
Aceites esenciales de residuos de naranja		Propiedades antiamnésicas y ansiolíticas (estudios in vitro e in vivo).		
Ácidos grasos: Ácido linoleico y oleico.		Aplicaciones prometedoras para la cicatrización de heridas, antioxidantes, antibacterianas y antidiabéticas (estudios in vitro e in vivo).	Semillas de mandarina (C reticulata)	Zayed et al (2021).
Compuestos fenólicos. Flavonoides Inulina.		Efectos hepatoprotector, anticancerígeno, antitumorales, antioxidantes, hipocolesterolémico, antiviral y antimicrobiano (estudios in vitro e in vivo).	Residuos de alcachofas y cardos	Jiménez - Moreno et al (2019)
Saponinas. Flavonoides. Hidroxicinamatos Fibra dietética		Las saponinas se estudian en el cáncer de colon, mama y páncreas (estudios in vitro e in vivo).	Residuos de espárragos	Jiménez - Moreno et al (2019).
Polifenoles de alto peso molecular. Elagitaninos. Proantocianidinas. Polisacáridos complejos. Flavonoides. Micronutrientes	Propiedades antioxidantes, antimicrobiana y antimutagénicas.	Protegen las células y los tejidos del daño oxidativo, protegen el ADN celular y reducen el riesgo de daño genético. Potencial para combatir infecciones causadas por bacterias, hongos y virus (estudios in vitro e in vivo).	Cáscara de granada	Jiménez - Moreno et al (2019)

Compuesto bioactivo	Efecto metabólico	Efecto en salud y tipo de estudio	Residuo	Referencia
Citrulina	Propiedades antioxidantes	La citrulina al convertirse en arginina favorece el sistema inmunitario, circulatorio y al corazón (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Cáscara de sandia	Akter y Rabeta (2021).
Compuestos fenólicos como: ácido gálico, cianidina 3- glucósido, epicatequina, galato de catequina y resveratrol	Disminuyen la actividad oxidativa y de radicales libres.	Protegen las células y los tejidos del daño oxidativo (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Cáscaras y semillas de uva	Akter y Rabeta (2021).
Compuestos fenólicos: ácido ascórbico, tocoferol, dopamina, ß-caroteno y el galocatecol.		Efecto protector contra el cáncer y enfermedades cardiacas (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Cáscaras de banano	Akter y Rabeta (2021).
Tocoferoles, hidroquinonas y gallusanos	Inhiben la amplificación de las cadenas de radicales libres, son secuestrantes de oxígeno y quelantes.	Protegen las células y los tejidos del daño oxidativo (estudios in vitro, in vivo y pruebas clinicas).	Cáscaras y semillas de papaya.	Akter y Rabeta (2021).

Nota. Los efectos metabólicos y en salud de los compuestos bioactivos extraídos de frutas y verduras han sido estudiados en entornos de laboratorio (in vitro) y preclínicos (in vivo), por lo que su aplicación clínica aún está en desarrollo.

Fuente. Autores

Tendencias Futuras en el Aprovechamiento de Residuos de Frutas y Verduras y sus Compuestos Bioactivos

Aunque el aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras para la extracción de compuestos bioactivos es un campo bastante estudiado a partir del 2015, la mayoría de las investigaciones propuestas se centran en la identificación y cuantificación de los compuestos bioactivos y el estudio de sus capacidades antioxidantes, estudios que se realizan a nivel de laboratorio con pruebas *in vitro*, por lo tanto, es importante considerar que los futuros estudios en este campo deben avanzar hacia:

- Investigaciones que busquen establecer la biodisponibilidad, eficiencia terapéutica y los beneficios reales de los compuestos bioactivos, mediante evidencias clínicas que corroboren los beneficios en la salud (Farag et al., 2020; Liu et al., 2021; Mwaurah et al., 2020; Rafiq et al., 2018; Stajčić et al., 2015; Tocmo et al., 2020).
- Estudios sobre la caracterización y el perfil de aroma de aceites esenciales extraídos de residuos de frutas y verduras que permitan disponer de una comprensión matizada de sus posibles aplicaciones (Tocmo et al., 2020).
- Estudios sobre el análisis de costo - beneficio de la extracción de aceites esenciales volátiles de los residuos de frutas y verduras, que involucren los costos de los métodos de extracción, transporte y almacenamiento de la materia prima y el rendimiento del proceso de extracción (Tocmo et al., 2020).
- Estudios integrales y de factibilidad que no sólo incluyan la recuperación de compuestos bioactivos y técnicas de extracción optimizadas mediante pruebas de laboratorio, sino que también permitan escalar estos estudios a nivel de planta piloto y de producción industrial, centrándose en aplicaciones específicas, evaluando los

costos asociados y los mercados existentes (Jahurul et al., 2015; Lu et al., 2019; Tocmo et al., 2020).

- Verificar el uso de tecnologías de procesamiento y formulación como las nanopartículas, nanoemulsión, microencapsulación, extrusión y alta presión para mejorar las funciones fisiológicas de los componentes menos solubles (fibras y aceites esenciales) y su aplicación en la producción de alimentos funcionales (Farag et al., 2020).
- Estudiar a más profundidad los aspectos sensoriales y nutricionales de los productos elaborados con la adición de compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras ya que a pesar de que se presentan beneficios nutritivos, con frecuencia se produce inevitablemente pérdida de la calidad sensorial haciendo que los alimentos desarrollados corran el riesgo de ser rechazados por los consumidores (Jahurul et al., 2015; Lu et al., 2019; Mwaurah et al., 2020; Yalcin et al., 2022).
- Ensayos farmacocinéticos, farmacodinámicos y clínicos para evaluar la toxicidad y la dosis segura de los compuestos bioactivos extraídos de los residuos de frutas y verduras (Akter & Rabeta, 2021; Lebaka et al., 2021).

Capítulo 2. Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos a Partir de Residuos de Frutas y Verduras

Los residuos de frutas y hortalizas en la agroindustria son una fuente valiosa de compuestos bioactivos que pueden ser aprovechados mediante la elaboración de alimentos funcionales, suplementos nutricionales o aditivos alimentarios (Ali et al., 2022). La obtención de compuestos bioactivos de una matriz vegetal se puede lograr utilizando una variedad de técnicas de extracción. Es crucial tener en cuenta criterios como una alta selectividad en los procedimientos analíticos y los bioensayos, la reproducibilidad del método, su confiabilidad, así como la duración, costo y accesibilidad tanto al equipo como a los reactivos (Wong-paz et al., 2020).

Al seleccionar la técnica de extracción, es importante considerar el grado de pureza del extracto de interés, las propiedades químicas y físicas del compuesto bioactivo, y la ubicación de este, como, por ejemplo, si está libre o ligado dentro de la célula. También es vital considerar la rentabilidad del procedimiento (Gong et al., 2020).

Existen diversas técnicas de extracción para obtener compuestos bioactivos. Estas se pueden dividir en técnicas convencionales y técnicas innovadoras. Independientemente de la técnica seleccionada, es esencial que sean amigables con el ambiente y que generen productos alimenticios de calidad, garantizando la seguridad para el consumidor final (Granato et al., 2020).

A continuación, se discuten algunas técnicas de extracción de compuestos bioactivos:

Técnicas Convencionales

En las técnicas convencionales se usa como principio la extracción por solvente, calor o una mezcla de ambos (Kainat et al., 2022). Entre estas técnicas se encuentran la maceración, la extracción Soxhlet y la hidrodestilación, las cuales son ampliamente usadas para extraer compuestos bioactivos de residuos de matrices vegetales (Santos & Santana, 2022).

A pesar de su amplio uso, es crucial considerar que las técnicas convencionales presentan desafíos desde el punto de vista ambiental. Generan residuos tóxicos que son difíciles de eliminar y, además, los tratamientos térmicos involucrados pueden desnaturalizar compuestos bioactivos que son sensibles a altas temperaturas (Granato et al., 2020).

Extracción Soxhlet

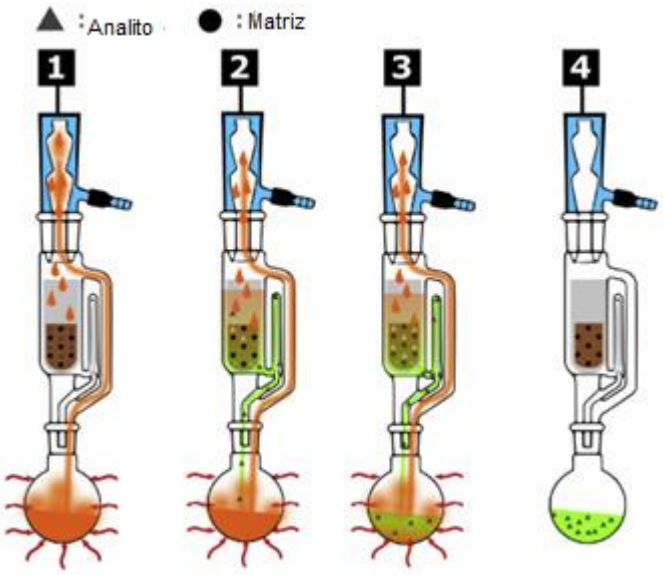
La extracción Soxhlet se ha utilizado durante mucho tiempo como un método tradicional para extraer importantes componentes bioactivos de diversas partes de plantas; sin embargo, fue creado exclusivamente para la extracción de lípidos (Ali et al., 2022). Para utilizar esta técnica, se debe preparar la muestra sólida mediante la pulverización y posteriormente se coloca en un cartucho o dedal elaborado con material poroso (Tesfaye & Tefera, 2017). Este cartucho se coloca en el soporte del equipo y se llena progresivamente con el disolvente extractante; el disolvente contenido en un balón se calienta para que los vapores se condensen y caigan gota a gota sobre el dedal que contiene la muestra. Un sifón aspira el soluto del soporte del dedal y lo vuelve a descargar en el matraz de destilación, consiguiendo la extracción de los analitos solubles. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente con los analitos disueltos asciende por el sifón y retorna al balón de ebullición. Este proceso se

repite hasta que se completa la extracción de los analitos de la muestra y se concentran en el disolvente (Sagar et al., 2018; Sorrenti et al., 2023).

En la figura 8 se muestra el esquema de la extracción Soxhlet:

Figura 8

Esquema extracción Soxhlet



Nota. 1. La muestra sólida se coloca en el dedal. Mediante reflujo es calentado el disolvente. 2. El solvente se condensa y comienza a extraer. El analito es transferido al depósito de extracción. 3. Repetición del proceso de extracción. 4. Extracción completada.

Fuente. Adaptado de Weggler et al., 2020.

En esta técnica se deben tener en cuenta parámetros como las características de la matriz vegetal, la transferencia de masa, la fuerza de las interacciones entre el analito y la solubilidad ya que influyen en la eficiencia. Adicionalmente, seleccionar el disolvente que tenga la capacidad de extraer el compuesto objetivo (Santos & Santana, 2022).

Cada vez que la cámara de extracción recibe disolvente fresco, evita la saturación del disolvente con solutos y por lo tanto la extracción Soxhlet también se conoce como extracción continua y proporciona una extracción completa del material vegetal (Malik & Mandal, 2022).

El procedimiento tiene como ventaja que la muestra se pone en contacto repetidamente con solvente nuevo y caliente permitiendo el equilibrio de transferencia y el aumento de la solubilidad del analito a recuperar (Rajesh et al., 2022). También es el método de comparación oficial y el más adecuado para pequeñas industrias (Rodríguez & Raghavan, 2022).

Está técnica tiene como principal limitación que se usa solo para los constituyentes termoestables (Malik & Mandal, 2022) ya que el calentamiento prolongado puede conducir a la degradación de los compuestos (Nafiu et al., 2017). Otra desventaja es que carece de agitación, lo que podría ayudar a acelerar el proceso (Rajesh et al., 2022). Requiere de grandes cantidades de disolvente, el tiempo de extracción es prolongado y tiene baja eficiencia (Martins et al., 2023; Rodríguez & Raghavan, 2022).

Una característica de esta técnica es que se utiliza cuando el compuesto bioactivo a extraer presenta solubilidad en un solvente especifico y las impurezas son insolubles en el (Santos & Santana, 2022).

En conclusión, la cantidad de disolvente, la temperatura, el tiempo de extracción, el tamaño de partícula del polvo del compuesto bioactivo y la relación disolvente - compuesto son las principales variables que afectan la eficiencia de extracción de esta técnica (Malik & Mandal, 2022).

En diversas investigaciones se ha utilizado el método Soxhlet para extraer compuestos bioactivos. Tal es el caso de la investigación llevada a cabo por Beghè et al.

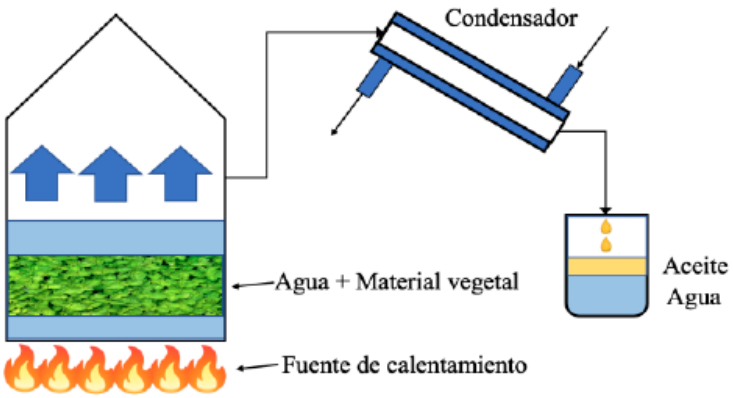
(2022), donde se caracterizó la granada (*Punica granatum L.*) a través del perfil morfoanatómico y lipídico de semillas. En esta, se identificaron ácidos grasos saturados, especificamente el ácido palmítico y el ácido esteárico. En lo que respecta a los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), destacaron especialmente los isómeros del ácido linoleico conjugado (CLnA), en particular el ácido punícico (Beghè et al., 2022). Por otro lado, Vidal et al. (2022) realizaron una extracción de compuestos fenólicos de la pulpa de café, utilizando un equipo Soxhlet y una técnica de percolación. Dicho estudio evaluó el impacto del solvente, el tiempo de extracción y la relación pulpa-solvente en el contenido de fenoles totales (TPC) del extracto (Vidal et al., 2022). Esta información se puede ampliar en la tabla 8, la cual se refiere a técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y hortalizas.

Hidrodestilación

Este método se ha utilizado tradicionalmente para la extracción de aceites esenciales, pero también para extraer compuestos químicos bioactivos. El proceso se basa en la mezcla del material sólido con agua como medio solvente, la cual se coloca dentro del destilador, a continuación, el agua se calienta hasta ebullición; el compuesto se libera de las glándulas sebáceas de la matriz vegetal gracias a su volatilidad. Posteriormente, ocurre un proceso de condensación donde se produce un cambio de estado del analito, el cual fluye hacia un separador y se recupera el compuesto de interés (Ali et al., 2022; Santos & Santana, 2022).

Figura 9

Esquema de montaje para hidrodestilación



Fuente. Adaptado de Colina-Márquez et al., 2022.

En la figura 9 se puede observar el esquema de montaje de esta técnica, la cual consta de cuatro procesos básicos: calentamiento, volatilización, condensación y separación. Las desventajas son: los productos químicos que son termolábiles pueden sufrir procesos de desnaturalización o eliminarse por las altas temperaturas de extracción; además, es un proceso lento por lo tanto requiere mucho tiempo de extracción (Kainat et al., 2022; Sagar et al., 2018).

Una de las mayores ventajas de este método es que su aplicación es sencilla y adecuada para implementarse en pequeñas industrias (Rodríguez & Raghavan, 2022; Sagar et al., 2018). Una de las mayores limitaciones de este método es su incompatibilidad con la extracción de compuestos sensibles al calor (Sorrenti et al., 2023).

En la tabla 8 se resumen algunas investigaciones realizadas mediante la extracción por hidrodestilación. Cañavi (2022), realizó la aplicación de ultrasonido en la extracción por hidrodestilación y microondas de aceite esencial de cáscara de limón (*Citrus aurantifolia*), en el aceite esencial mediante el método de HD se identificaron 12

compuestos, con una proporción mayoritaria del 64% de D-Limoneno, el método de extracción con microondas tuvo un rendimiento de 1,83%, con hidrodestilación de 1,92 % y mediante el pretratamiento con microondas aumentó a 2,56%. Al comparar el rendimiento del aceite esencial obtenido se concluye que el método de extracción usando microondas con el pretratamiento ultrasónico es mayor al del método de hidrodestilación (Cañavi, 2022).

En el 2022 Colina-Márquez et al. hicieron la comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (*Citrus maxima*), encontrando que la destilación por arrastre con vapor es mejor que la hidrodestilación, porque el rendimiento es 60 veces mayor (Colina-Márquez et al., 2022).

Maceración

La maceración es una técnica clásica de extracción sólido-líquido muy utilizada (Naviglio et al., 2017). Este proceso implica la interacción entre un material biológico en forma de polvo, conocido como matriz sólida, y un líquido de naturaleza general, denominado solvente o menstruo, durante un período específico. El solvente puede ser un líquido común, como el agua, alcoholes alifáticos con tres carbonos o menos (generalmente etanol), o una combinación de ambos componentes. Se llama tintura a la mezcla del solvente con la matriz sólida (Duarte-Trujillo et al., 2020; Sorrenti et al., 2023).

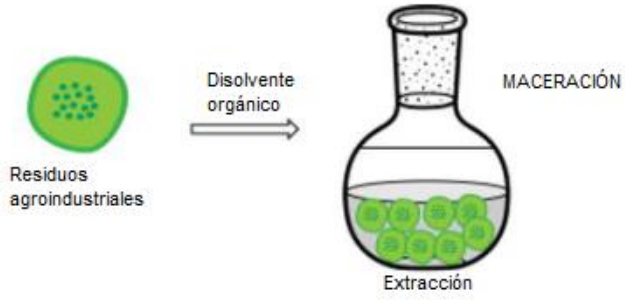
El objetivo de esta técnica es ablandar y romper la pared celular de la planta para liberar los fitoquímicos solubles. La elección del disolvente determinará el tipo de compuesto extraído de las muestras (Azwanida, 2015).

Existen diferentes métodos de maceración, y el método específico a utilizar puede depender del tipo de planta, el propósito de la maceración, y el líquido utilizado. Algunos métodos comunes incluyen:

Maceración en Frío. La planta se sumerge en un solvente a temperatura ambiente y se deja reposar durante un período prolongado, en la figura 10 se puede observar este proceso, que puede variar desde horas hasta semanas (Quishpe, 2019).

Figura 10

Representación esquemática de la maceración en frío



Fuente. Adaptado de Rodríguez & Raghavan, 2022**.**

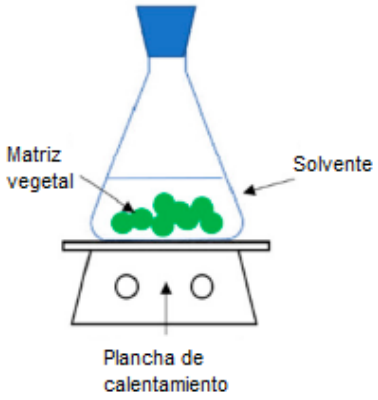
Este tipo de extracción tiene como ventaja que se realiza a temperatura ambiente y por lo tanto no hay alteración de los compuestos termolábiles (Naviglio et al., 2017), se puede usar a pequeña escala en laboratorios de investigación y en empresas pequeñas porque los equipos son simples (Azwanida, 2015).

La principal desventaja es que los tiempos de extracción son largos en promedio porque la extracción se realiza principalmente por efectos de difusión (Naviglio et al., 2017).

Maceración con Calor. La planta se sumerge en un líquido caliente (pero no hirviendo) para acelerar la extracción de sus componentes, como se muestra en la figura 11. Esta técnica puede ser útil cuando se desea una extracción más rápida, pero puede degradar algunos compuestos sensibles al calor, para evitar que esto suceda se pueden hacer extracciones con corriente de vapor (Yasig, 2019).

Figura 11

Representación esquemática de la maceración con calor



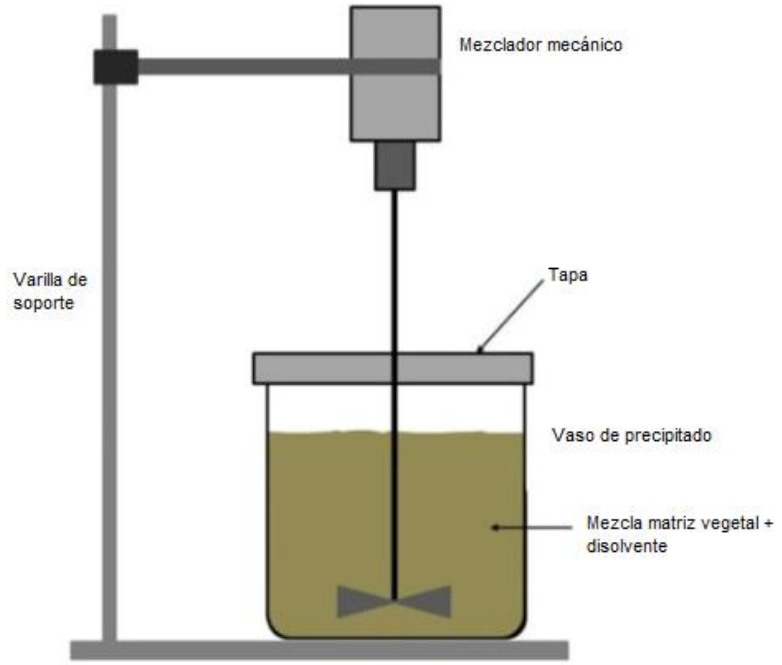
Fuente. Adaptado de Frosi et al., 2021.

La ventaja de este método es que acorta los tiempos de extracción, pero la matriz vegetal se puede exponer a elevadas temperaturas y degradar los compuestos bioactivos de interés (Yasig, 2019).

Maceración Dinámica. En este tipo de extracción se recomienda agitar el sistema para promover la difusión de los compuestos y evitar una sobresaturación de la superficie, lo que conduce a una ralentización general del proceso (Naviglio et al., 2017). En la figura 12 se puede observar un sistema sencillo representativo de este tipo de maceración.

Figura 12

Representación esquemática de la maceración dinámica



Fuente. Adaptado de Bakhattar et al., 2022.

Aunque la maceración es una de las técnicas más sencillas y económicas, tiene como desventajas los altos volúmenes de residuos orgánicos que genera y el gran volumen de disolvente que utiliza (Azwanida, 2015; Sorrenti et al., 2023).

Al terminar cualquier tipo de maceración, el extracto se filtra mediante tamices o se centrifuga con el objetivo de recuperar el sobrenadante y eliminar el residuo. Finalmente, se realiza una concentración por evaporación (Martins et al., 2023).

Mediante el proceso de maceración tradicional, es posible extraer diferentes compuestos bioactivos. En la investigación llevada a cabo por Ujic et al. (2016), se empleó este método para extraer polifenoles de *Aronia melanocarpa.* Como resultado, el principal compuesto de antocianina identificado fue el cianidina-3- galactósido, seguida de la cianidina-3-arabinósido y la cianidina-3- glucósido. En cuanto a los flavonoides, los

compuestos dominantes predominantes fueron los derivados de la quercetina, tales como quercetina-3-glucósido, quercetina-3-galactósido y quercetina-3-rutinósido (Ujic et al., 2016).

Técnicas Emergentes

Las nuevas metodologías de extracción aprovechan principios no térmicos para obtener sustancias sin el peligro de calentar en exceso el material original, logrando menos uso de energía. El estudio de estos métodos ha sido motivado por la necesidad de superar las desventajas que presentan las técnicas tradicionales, entre las que se incluyen la alteración de sustancias sensibles al calor, eficiencias de extracción reducidas, uso intensivo de disolventes, elevado gasto energético, procesos de extracción prolongados y la generación de desechos peligrosos (Banerjee et al., 2017).

Actualmente se emplean múltiples técnicas novedosas y únicas para el proceso de extracción, las cuales se enlistan a continuación:

Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)

Se considera que la extracción mediante ultrasonidos es un enfoque más sencillo y eficaz que los métodos convencionales para obtener componentes bioactivos de materias primas naturales. El tipo de matriz vegetal del que se extraen estos componentes influye notablemente en la eficacia de la extracción, siendo la frecuencia de ultrasonidos un factor determinante en la eficiencia del proceso (Kainat et al., 2022; Reinoso et al., 2023).

Este método de extracción no es reciente, dado que se ha empleado de manera extensa para obtener compuestos de plantas y frutas desde la década de los 80 (Wong-Paz et al., 2017).

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es una técnica que utiliza ondas de sonido de alta frecuencia para mejorar la extracción de compuestos bioactivos de las

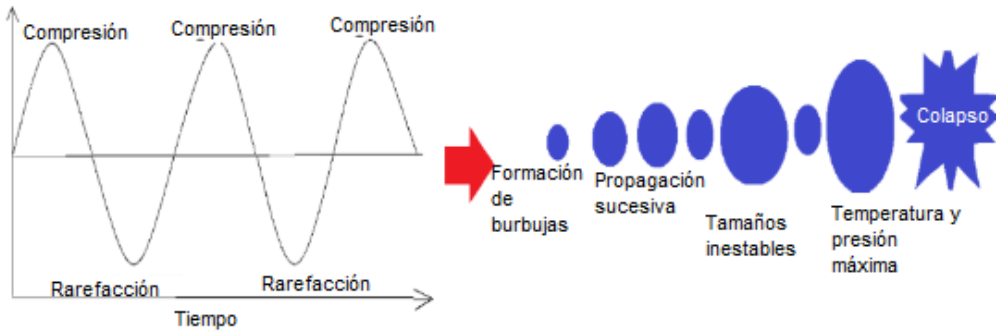
matrices naturales, como las plantas o los residuos de frutas y verduras. La EAU utiliza la energía sonora producida por ondas ultrasónicas con frecuencias que oscilan entre 20 y 100 kHz (Patra et al., 2022).

El proceso de extracción de compuestos bioactivos de las plantas, incluyendo hojas y cáscaras de frutas, comienza con la fragmentación. Este paso inicial implica la disminución del tamaño de las partículas, lo que mejora la transferencia de masa debido a las colisiones de partículas con las ondas ultrasónicas. Posteriormente, la erosión contribuye al proceso permitiendo que el solvente alcance la superficie del material vegetal gracias a la implosión de las burbujas creadas. Además, la sonocapilaridad y la sonoporación intensifican la capacidad del solvente para penetrar en las membranas celulares a través de los canales formados por la implosión de las burbujas. Finalmente, el objetivo de la última fase es la liberación de los compuestos bioactivos, la cual se ve favorecida por la oscilación, es decir, el efecto de las burbujas de cavitación colapsando y generando un flujo a través del estrés mecánico aplicado (Fajardo et al., 2022; Medina-Torres et al., 2017).

Esta técnica se basa en el uso de ondas ultrasónicas de alta frecuencia que, al propagarse a través de un medio, generan alternancia de ciclos de alta presión (compresión) y baja presión (rarefacción), en la figura 13 se grafica este principio. Durante los ciclos de baja presión, se forman pequeñas burbujas de vacío o cavidades en el líquido. El fenómeno de la formación, crecimiento y colapso violento de estas burbujas se conoce como cavitación (Sorrenti et al., 2023; Wong-Paz et al., 2017).

Figura 13

Principio de la cavitación acústica

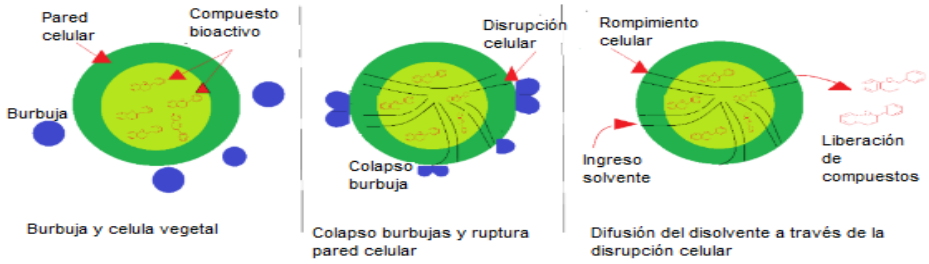


Fuente. Adaptado de Medina-Torres et al., 2017.

La cavitación ultrasónica puede causar varios efectos mecánicos y fisicoquímicos, como el aumento de la temperatura y la presión local, la generación de fuerzas de corte y la turbulencia. Estos efectos pueden romper las paredes celulares de la planta y mejorar la liberación y el traspaso de los solutos entre la célula y el solvente. Como se puede observar en la figura 14, al romperse las paredes celulares, los compuestos bioactivos contenidos dentro de las células se liberan al solvente circundante, desde donde pueden ser recolectados (Martins et al., 2023; Wong-Paz et al., 2017).

Figura 14

Representación gráfica del colapso y liberación de material vegetal de la burbuja de cavitación en tres pasos



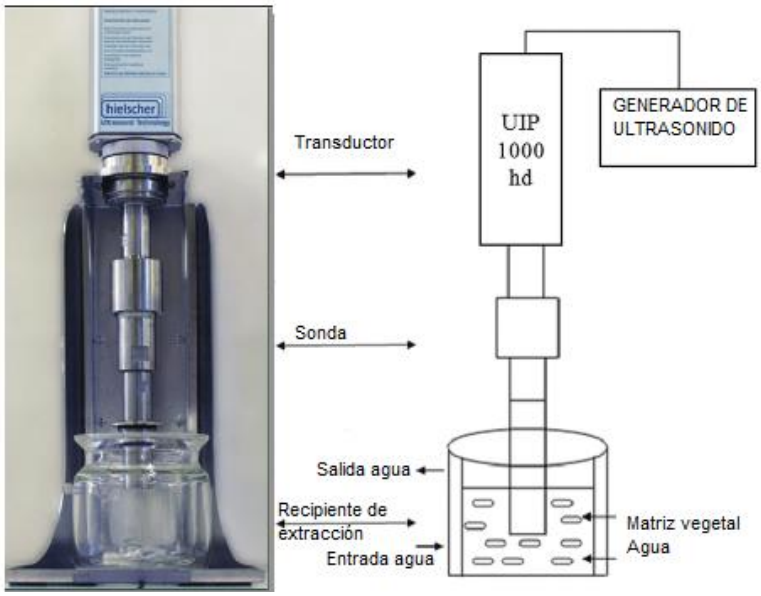
Fuente. Adaptado de (Medina-Torres et al., 2017).

Un equipo de Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU) generalmente consta de los componentes que se esquematizan en la figura 15:

- Generador de Ultrasonido: Es el corazón del sistema y se encarga de generar la frecuencia y la potencia necesarias para la operación. Convierte la energía eléctrica en energía mecánica en forma de ondas ultrasónicas (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).
- Transductor: Este dispositivo convierte la energía eléctrica proveniente del generador en energía acústica (ondas ultrasónicas). Los transductores pueden ser piezoeléctricos o magnetoestrictivos (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).
- Sonda o cuerno: La sonda es la parte del equipo que introduce las ondas ultrasónicas en el medio a extraer. La amplitud de las ondas ultrasónicas se amplifica a través del cuerno y luego se transmite al solvente y al material vegetal (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).
- Recipiente de Extracción: Es el contenedor donde se colocan el material vegetal y el solvente. Puede ser un simple vaso de precipitados o un reactor diseñado para soportar la cavitación ultrasónica y resistir las condiciones de presión y temperatura que pueden generarse (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).
- Sistema de Control de Temperatura: Dado que la cavitación genera calor, es importante controlar la temperatura para preservar la integridad de los compuestos sensibles al calor. Puede haber un baño de agua fría o un sistema de refrigeración integrado (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

Figura 15

Equipo de Extracción asistida por ultrasonido



Fuente. Adaptado de Selvamuthukumaran & Shi, 2017.

La eficiencia de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) puede verse influida por varios factores: la uniformidad y las propiedades fisicoquímicas de las muestras, así como la movilidad de las partículas. Estos aspectos son cruciales ya que afectan la dispersión de la energía ultrasónica en el medio de extracción. Normalmente, la EAU se realiza bajo condiciones estáticas, donde el proceso se realiza en un frasco cerrado sin reemplazo del solvente. No obstante, la EAU también puede efectuarse de manera dinámica, con un reemplazo periódico del solvente para optimizar la extracción (Talmaciu et al., 2015; Torres-Valenzuela et al., 2020).

La Extracción Asistida por Ultrasonido representa un avance en términos de eficiencia, disminución del volumen del disolvente y rapidez en la recuperación de compuestos fenólicos en comparación con los métodos convencionales de extracción. La literatura científica atribuye esta mejora a que el ultrasonido facilita la ruptura de las

paredes celulares, lo que aumenta la capacidad del solvente para penetrar y extraer los compuestos deseados. Este mecanismo mejora la extracción debido a la cavitación generada por las ondas de ultrasonido, que produce microcorrientes y turbulencias que promueven la disgregación de las células y la liberación de sus componentes bioactivos (Medina-Torres et al., 2017; Negrón-Díaz et al., 2023).

El EAU permite disminuir los costes gracias a que acorta los tiempos de extracción y hace más eficiente la utilización de solventes. Con esta metodología se obtiene un mejor rendimiento y se alcanza una mayor concentración de la mezcla sólido-líquido comparado con los métodos de maceración tradicionales. Además, posibilita que el proceso, que toma alrededor de 30 minutos, pueda transformarse de un sistema por lotes a uno continuo. Esta técnica es vista como una opción sostenible para la industria, ya que facilita el control de variables, optimiza los periodos de procesamiento y aumenta la producción de extractos específicos (Rojas et al., 2018; Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

Al considerar otras ventajas, es importante destacar que la tecnología en cuestión es eficiente en términos de energía y adecuada para la extracción de compuestos bioactivos que pueden degradarse con el calor. Sin embargo, como desventaja principal, existe el riesgo de generación de radicales libres que pueden comprometer la integridad y calidad de dichos compuestos bioactivos (Campos et al., 2023; Wen et al., 2018).

En el estudio de Živković et al. (2018), se establecieron las condiciones óptimas para la extracción de polifenoles de la cáscara de granada (*Punica granatum L., Punicaceae*), un subproducto con potencial en la obtención de compuestos bioactivos. El análisis se centró en el contenido total de polifenoles y en la cuantificación específica de ácido elágico, ácido gálico, punicalagina y punicalina (Živković et al., 2018).

Gunes et al. (2019) emplearon la técnica de extracción asistida para obtener compuestos fenólicos de semillas de manzana. Los resultados revelaron que las semillas de manzana son una fuente significativa de compuestos fenólicos, entre ellos destacó la floridzina. Por lo tanto, se sugiere el potencial uso de estas semillas en industrias como la alimentaria, farmacéutica y cosmética (Gunes et al., 2019).

Safdar et al. (2017) investigaron el proceso de obtención de polifenoles de la piel de kinnow (*Citrus reticulata L*.) a través de métodos de maceración y extracción con ayuda de ultrasonidos. Destacaron que la técnica de extracción por ultrasonidos (EAU) superó a la maceración en eficiencia, logrando concentraciones más altas de estos compuestos (Safdar et al., 2017).

Extracción Asistida por Microondas (MAE)

La Extracción Asistida por Microondas (MAE, por sus siglas en inglés) se perfila como una tecnología avanzada y prometedora en la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de frutas. Este método innovador aprovecha la energía generada por las microondas para calentar las muestras, las cuales pueden ser tratadas de manera directa o indirecta (Chemat et al., 2017; Patra et al., 2022).

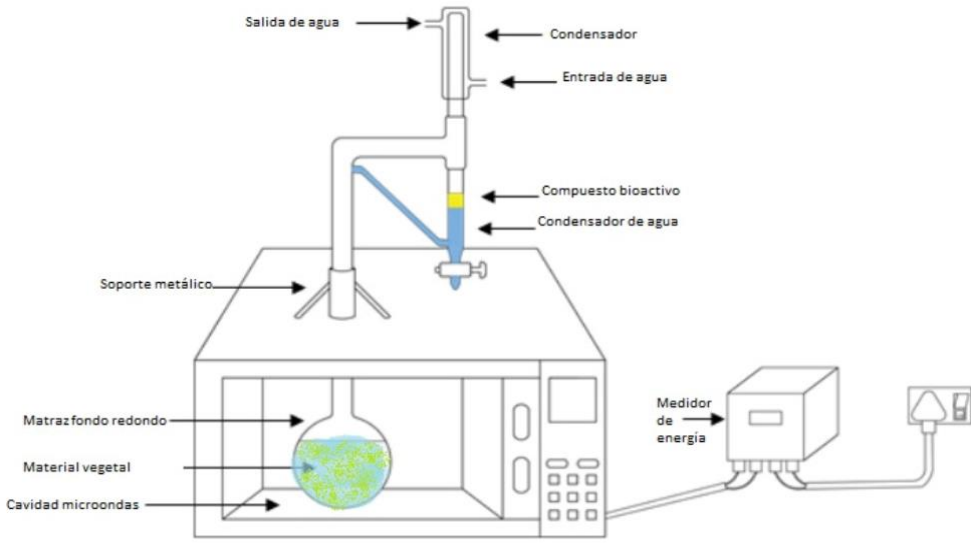
Está técnica tiene como principio la irradiación electromagnética en un disolvente polar y la muestra. Este proceso conlleva a un aumento rápido de temperatura en el material sólido, causando su ruptura. El mecanismo detrás de este calentamiento se basa en la conducción iónica y la rotación dipolar. Estos procesos son impulsados por un campo electromagnético, el cual opera en un rango de frecuencia que va desde los 300 MHz hasta los 300 GHz. Este rango de frecuencia es crucial para activar los mecanismos de calentamiento mencionados (Otálora-Orrego & Martin, 2020; Santos & Santana, 2022).

El equipo usado en la MAE consta de una cavidad de microondas, una unidad de extracción, un soporte y un medidor de energía, el esquema se muestra en la figura 16 (Sagarika et al., 2018).

La cavidad del microondas consta de un panel de control del tiempo y control de potencia, la unidad de extracción está constituida por un sistema de hidrodestilación Clevenger en el que se recicla el agua destilada, es importante que la capacidad del matraz de fondo redondo coincida con la dimensión de la cavidad del microondas para facilitar el ingreso y descarga del material vegetal. En la parte superior de la cavidad del microondas hay una perforación del diámetro del condensador. Toda esta estructura es sostenida por un soporte metálico (Sagarika et al., 2018).

Figura 16

Diagrama esquemático de la unidad de extracción asistida por microondas



Fuente. Adaptado de Sagarika et al., 2018.

La extracción asistida por microondas (MAE) genera calor dentro del material debido a la conductividad iónica y la rotación dipolar de sus moléculas internas. Este

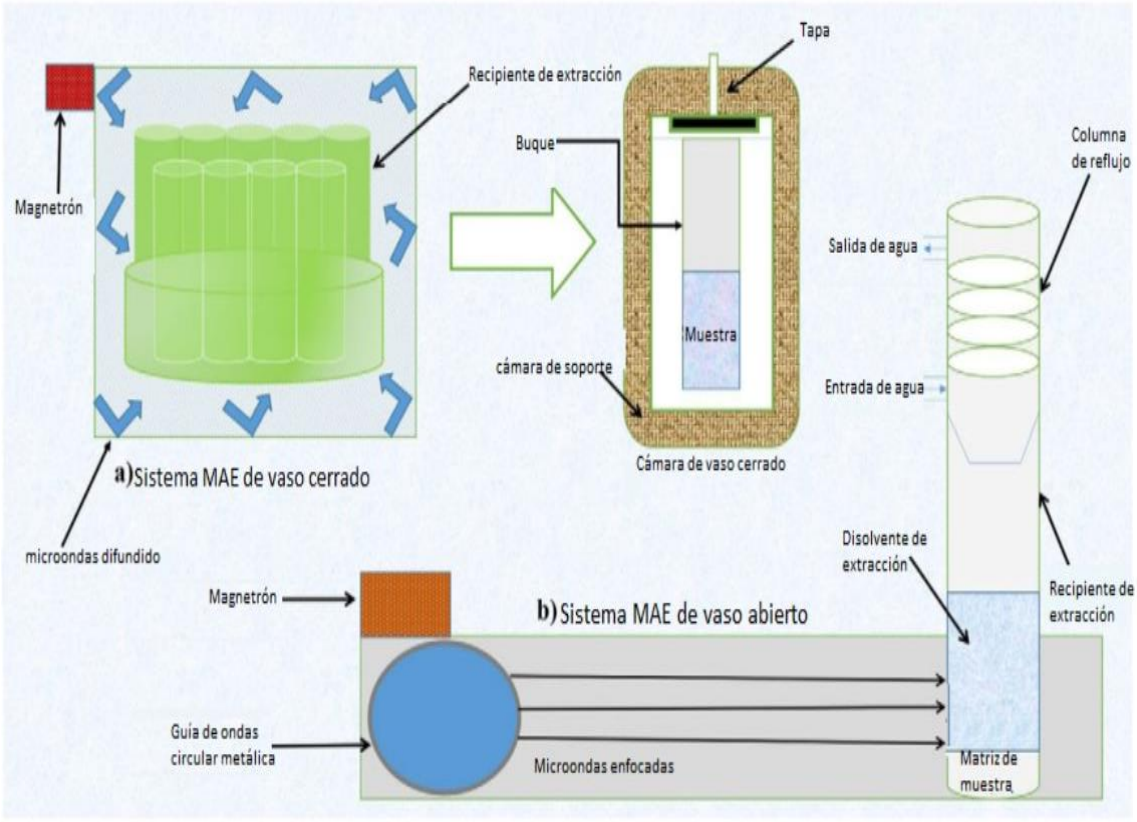
aumento de temperatura es crucial para romper la pared celular, facilitando así que los compuestos bioactivos se desprendan de esta y se liberen en el sistema de extracción (Ali et al., 2022; Sorrenti et al., 2023).

Ameer et al. (2017) explican en su artículo de revisión titulado “Métodos de extracción para polifenoles de matrices vegetales y sus subproductos” que las plantas secas aún retienen pequeñas cantidades de agua en su estructura, las cuales son clave en el proceso de calentamiento mediante microondas. Este método utiliza la radiación de microondas para interactuar con las moléculas de agua químicamente adheridas a la planta, generando alta temperatura y presión dentro del horno. Esta temperatura elevada provoca la deshidratación de la celulosa en las plantas, lo que a su vez reduce su resistencia mecánica. El MAE incluye varios pasos para extraer eficientemente compuestos fitoquímicos, especialmente polifenoles, de las plantas (Ameer et al., 2017).

El MAE comienza con la producción de ondas electromagnéticas desde un magnetrón de cavidad, tal como se muestra en la figura 17. Las células vegetales y sus paredes, así como los subproductos presentes en la matriz vegetal, absorben estas ondas de radiación. Esta absorción resulta en el calentamiento de la humedad atrapada en la matriz, debido a la energía fotónica de las ondas electromagnéticas. Este calentamiento provoca la evaporación de la humedad y ejerce una presión considerable sobre las paredes celulares de las plantas a nivel celular y subcelular, esto lleva a que las células vegetales se hinchen, lo que eventualmente altera la estructura de la matriz vegetal. Este cambio estructural facilita el transporte de solutos debido a la ruptura de las células, lo que a su vez mejora la liberación de fitoquímicos de la matriz celular vegetal al medio extractante durante el proceso (Ameer et al., 2017).

Figura 17

Principio esquemático operativo y mecanismos del MAE



a. Sistema MAE de vaso cerrado. b. Sistema MAE de vaso abierto

Fuente. Adaptado de Ameer et al., 2017.

Comercialmente existen dos tipos de sistemas MAE, (i) el sistema de recipiente cerrado y (ii) el sistema de recipiente abierto (Ameer et al., 2017):

El sistema de recipiente cerrado, también conocido como multimodo, se caracteriza por llevar a cabo procesos de extracción bajo condiciones de temperatura y presión controladas, siendo particularmente útil en contextos de temperaturas muy altas. En este sistema, las microondas, emitidas por un magnetrón de cavidad, se distribuyen de manera uniforme y omnidireccional para interactuar con las muestras de plantas ubicadas en los

recipientes de extracción dentro de una cámara cerrada. Esta dispersión equitativa de las microondas es lo que le da el nombre de sistema multimodo (Ameer et al., 2017).

Por otro lado, el sistema de recipiente abierto o monomodo se distingue por tener el recipiente de extracción parcialmente expuesto a un haz enfocado de radiación de microondas. Aquí, una guía de ondas metálica circular conduce las microondas directamente hacia el recipiente dentro de una cavidad diseñada para este propósito. La interacción de las microondas con el material en el recipiente facilita la transferencia de masa entre el soluto y el extractante, iniciada por la solvatación (Ameer et al., 2017).

El MAE tiene ventajas como la eficiencias del tiempo debido a que el calentamiento en microondas es rápido y uniforme, el mayor rendimiento de compuestos bioactivos ya que el calentamiento por microondas puede mejorar la penetración del solvente y la desorción de los compuestos del material de la matriz, reducción del uso de solventes y control preciso de la temperatura y el tiempo de extracción, lo que puede ser crucial para evitar la degradación de compuestos sensibles al calor (Halaliza & Zulkifly, 2017; Santos & Santana, 2022).

Entre las desventajas del MAE se tiene la complejidad en la optimización de los parámetros de extracción (como tiempo, temperatura, y potencia de microondas) porque puede ser más compleja que en métodos convencionales (Santos & Santana, 2022), además, no todos los solventes son adecuados para la MAE debido a su comportamiento en un entorno de microondas. Las muestras deben estar en formas específicas, como polvo fino, secadas o tamizadas, para facilitar la separación del extracto de los residuos vegetales (Ameer et al., 2017).

Chuyen et al. (2018) realizaron una extracción asistida por microondas y extracción asistida por ultrasonido para la recuperación de carotenoides de la cáscara de Gac

(*Momordica cochinchinensis Spreng*) y sus efectos sobre la capacidad antioxidante de los extractos, como resultado se obtuvo que la eficiencia en la extracción de carotenoides y la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos mediante ultrasonidos superaron significativamente a los logrados con microondas (Chuyen et al., 2018).

El estudio de Rahayu et al. (2019) se centró en optimizar el proceso de extracción de catequina de la cáscara de cacao usando la técnica de extracción asistida por microondas (MAE). Se concluyó que una mayor duración de extracción facilita la liberación de más compuestos activos de las cáscaras de cacao secas (Rahayu et al., 2019).

Se utilizó extracción asistida por microondas (MAE) para extraer compuestos bioactivos de las cáscaras de pitaya utilizando agua como disolvente. En este estudio se concluyó que MAE es la mejor opción para extraer los compuestos bioactivos de las cáscaras de pitaya debido a que los resultados indican que la actividad antioxidante tuvo una buena correlación con el contenido fenólico (Zain & Nazeri, 2016).

Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE)

La Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE) representa una tecnología verde avanzada, particularmente útil en la recuperación de compuestos bioactivos de residuos de matrices vegetales. Esta metodología se destaca por su eficiencia en la extracción rápida, empleando temperaturas moderadas que protegen la integridad de los compuestos de interés. Asimismo, simplifica el proceso al eliminar la necesidad de etapas de lavado y evita el uso de solventes perjudiciales. El dióxido de carbono (CO_2) es el agente más común en la SFE, seleccionado por sus múltiples beneficios: es un gas no explosivo, poco inflamable, económico, de fácil acceso, y posee una baja temperatura crítica de 32 °C a una presión de 7.4 MPa. Esta característica del CO_2 facilita enormemente la separación de los componentes extraídos tras el proceso (Sorrenti et al., 2023; Wong-paz et al., 2020).

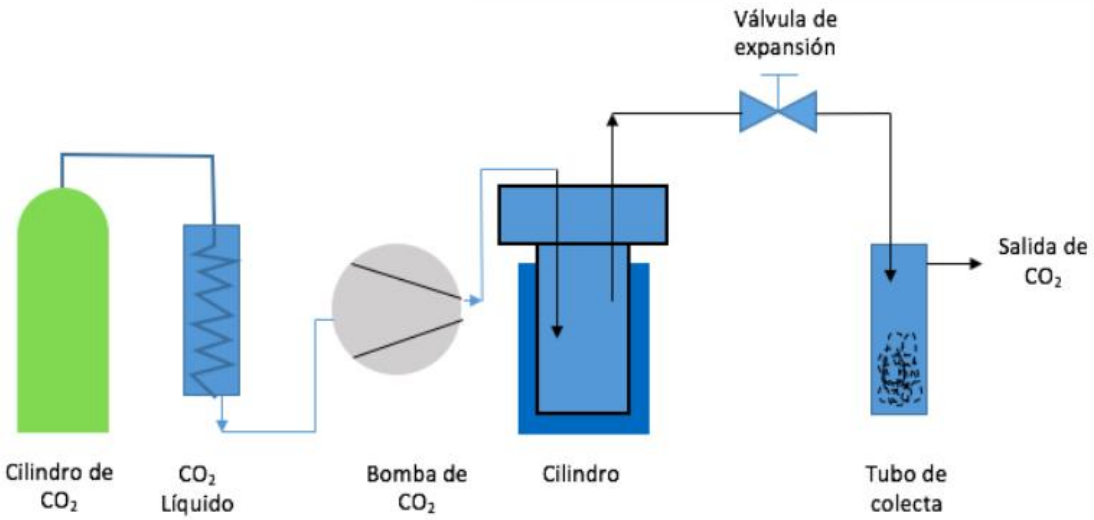
Un fluido supercrítico (SC) se puede definir como una sustancia que se encuentra en un estado en el que sus propiedades líquidas y gaseosas se mezclan. Esto se logra llevando el fluido más allá de su punto crítico de temperatura y presión; En este estado, no es posible licuar la sustancia simplemente aumentando la presión, ni vaporizarla únicamente elevando la temperatura. Esto resulta en una fase única donde las propiedades líquidas y gaseosas son indiferenciables (Ameer et al., 2017).

Un fluido supercrítico posee una densidad comparable a la de los líquidos, lo que le otorga una alta capacidad solvatante, permitiéndole disolver una amplia gama de solutos. Al mismo tiempo, su viscosidad es parecida a la de los gases, y su difusividad es más elevada que en los líquidos. Esta combinación de propiedades mejora su habilidad para penetrar en los poros de las muestras (Román et al., 2016).

En la figura 18, se puede observar un sistema SFE básico, el cual consta de un tanque de CO_2, una bomba para presurizar el CO_2, la celda de extracción y adicionalmente diferentes tipos de medidores (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

Figura 18

Esquema de un equipo usado para SFE



Fuente. Román et al., 2016.

El proceso de extracción utilizando SFE se desarrolla de la siguiente manera: inicialmente, se coloca el material vegetal dentro de un reactor, que a su vez se sitúa en el recipiente de extracción. Luego, se introduce el fluido supercrítico (FS). Al final del proceso, el FS, que ya ha absorbido los compuestos del material vegetal, se dirige hacia una válvula de despresurización y de ahí pasa a otra sección del sistema denominada separador. En el separador, debido a una reducción de presión, el extracto se separa del fluido gaseoso. Finalmente, el extracto obtenido se recolecta en una sección aparte conocida como colector (Wong-paz et al., 2020).

La técnica de SFE se basa principalmente en el uso de fluidos como el dióxido de carbono (CO_2), el etanol y el agua en estado supercrítico. Estos fluidos son generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés) por organismos reguladores importantes como la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos

(FDA) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) (Santos & Santana, 2022).

De estos, el dióxido de carbono supercrítico es particularmente destacado como una opción preferible a los disolventes orgánicos convencionales. Esto se debe a varias razones: primero, el CO_2 en su estado supercrítico no es explosivo ni tóxico, lo que reduce significativamente los riesgos asociados con su manejo y almacenamiento. Además, no es tan costoso como otros disolventes orgánicos. Una de sus principales ventajas es su habilidad para solubilizar sustancias lipofílicas, haciéndolo muy útil en la extracción de ciertos compuestos. Finalmente, el CO_2 puede ser eliminado fácilmente de los productos finales, lo que simplifica los procesos de purificación y minimiza los residuos tóxicos, contribuyendo a la sostenibilidad y seguridad del proceso de extracción. Estas características hacen del CO_2 supercrítico una opción atractiva y sostenible en diversas aplicaciones de extracción (Santos & Santana, 2022).

La extracción con fluido supercrítico presenta varias ventajas sobre la extracción con solvente líquido. Primero, tiene una menor viscosidad y un coeficiente de difusión más elevado, lo cual mejora la transferencia de masa. Además, es un método más rápido y ecológico, ya que requiere menos cantidad de muestra y solvente orgánico. Esto también conlleva un menor desperdicio, debido a la posibilidad de reutilizar y reciclar el fluido supercrítico. Por último, es especialmente adecuado para tratar compuestos volátiles, dado que se lleva a cabo a temperatura ambiente (Ali et al., 2022; Sagar et al., 2018).

La SFE presenta numerosas ventajas, particularmente en términos de eficiencia y sostenibilidad ambiental. Sin embargo, esta tecnología también enfrenta ciertos desafíos. Uno de los principales es la necesidad de equipos especializados y sofisticados, lo que puede elevar significativamente los costos iniciales. Además, la operación de estos equipos

requiere condiciones de presión y temperatura muy específicas, lo que a su vez exige que los operadores estén debidamente capacitados y cualificados para manejar estas condiciones (Ameer et al., 2017; Cardoso et al., 2016).

Otro aspecto para considerar es el uso del CO_2 como solvente, el cual es comúnmente elegido en la SFE debido a sus propias propiedades favorables. A pesar de esto, el CO_2 no siempre es adecuado para extraer todos los tipos de compuestos, especialmente los compuestos polares. En tales casos, se puede requerir la utilización de cosolventes. El uso de cosolventes puede agregar una capa adicional de complejidad al proceso y, potencialmente, incrementar los costos operativos y de mantenimiento (Ameer et al., 2017; Melo-Guerrero et al., 2020).

En el estudio sobre la "actividad antioxidante del complejo de inclusión del extracto de semilla de *Bixa orellana* EN β-ciclodextrina obtenido por CO_2 supercrítico" se usó el equipo que se muestra en la figura 19, el cual consistía en una unidad de extracción mediante fluido supercrítico, diseñado por la Universidad del Valle. Esta unidad incluye varios componentes esenciales (Meñaca et al., 2018):

1.Cilindro de CO_2 con sifón: Este componente suministra CO_2 al equipo, el cual es esencial para el proceso de extracción.

2. Compresor: Este dispositivo enfría el CO_2 a temperaturas cercanas a los -10 °C, preparándolo para su uso en el proceso de extracción.

3. Bomba neumática con pistón: Se encarga de bombear el CO_2 hacia el cilindro de alta presión.

4. Cilindro de alta presión (tanque): Aquí se almacena el CO_2 bajo alta presión, que puede ser monitoreada mediante un manómetro.

5. Válvulas de control (manómetros): Situadas en la entrada y salida del cilindro de alta presión, estas válvulas regulan el flujo de CO_2.

6. Válvula micrométrica: Controla el flujo de CO_2 de manera manual durante el proceso de extracción

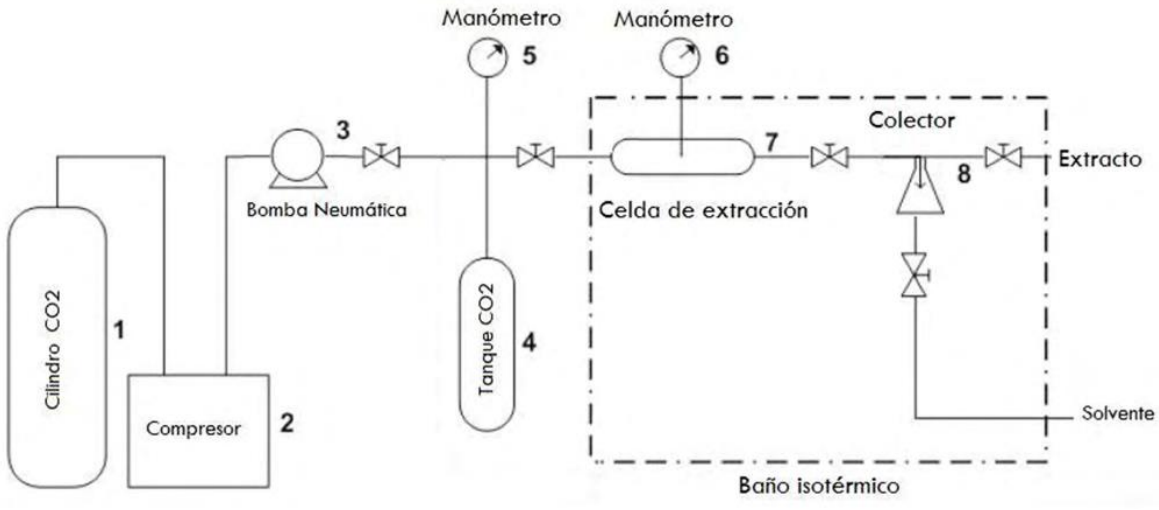
7. Celda de extracción: Contiene la muestra a extraer. Está equipada con otro manómetro para monitorear la presión dentro de la celda.

8. Colector: En este componente se separa el extracto del solvente, con el CO_2 pasando a estado gaseoso.

Adicionalmente, tanto la celda de extracción como el colector están inmersos en un baño isotérmico, que mantiene la temperatura deseada durante la extracción. Este diseño integral asegura un control preciso del proceso de extracción utilizando fluido supercrítico (Meñaca et al., 2018).

Figura 19

Diagrama de la unidad de extracción por fluido supercrítico

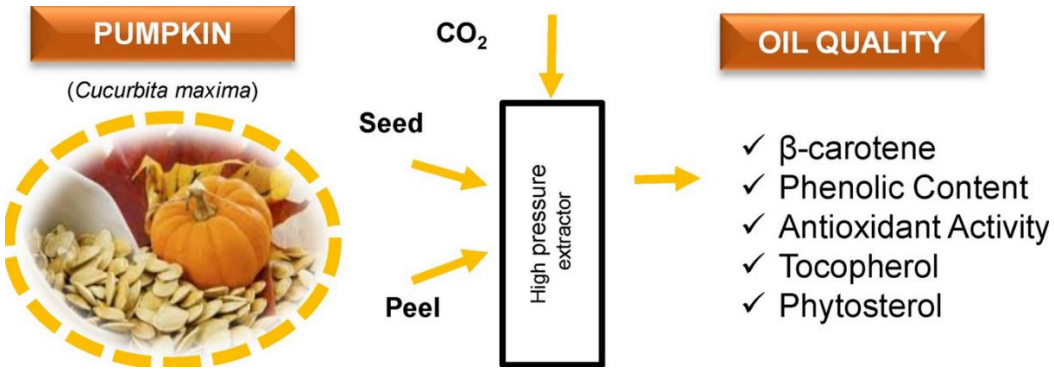


Fuente. Meñaca et al., 2018

Cuco et al. (2019) realizaron una extracción simultánea de aceite de semilla y compuestos activos de la cáscara de calabaza (*Cucurbita maxima*) utilizando dióxido de carbono presurizado como disolvente. Se evaluó el efecto de la temperatura y la presión en la composición química de extractos obtenidos de semillas y cáscaras de calabaza, en la figura 20 se puede observar el diagrama de este estudio (Cuco et al., 2019).

Figura 20

Resumen grafico del estudio



Fuente. Adaptado de (Cuco et al., 2019).

En general, el estudio concluye que la extracción de aceite de subproductos de calabaza (semillas/cáscara) utilizando SFE con dióxido de carbono proporciona extractos de calidad superior en comparación con los métodos clásicos y asistidos por ultrasonido, especialmente en términos de contenido de compuestos fenólicos, fitoesteroles, tocoferoles, actividad antioxidante y estabilidad térmica (Cuco et al., 2019).

El artículo "Extracción de aceite de semilla de granada (*Punica granatum L.*) con dióxido de carbono supercrítico: Modelado cinético y evaluación de solubilidad" de Andrea Natolino y Carla Da Porto, publicado en el Journal of Supercritical Fluids en 2019, examina la eficacia de la extracción de aceite de semilla de granada usando dióxido de carbono supercrítico (SC-CO_2). Este estudio compara la técnica de SC-CO_2 con el método Soxhlet

tradicional, encontrando que el método SC-CO_2 proporciona un extracto con mayor estabilidad a la oxidación y un contenido más alto de α-tocoferol, lo cual indica una mejor conservación de los compuestos beneficiosos; y aumenta el contenido de ácido púnico, un componente valioso del aceite por sus propiedades farmacéuticas y nutracéuticas (Natolino & Da Porto, 2019).

Campo Eléctrico Pulsado (PEF)

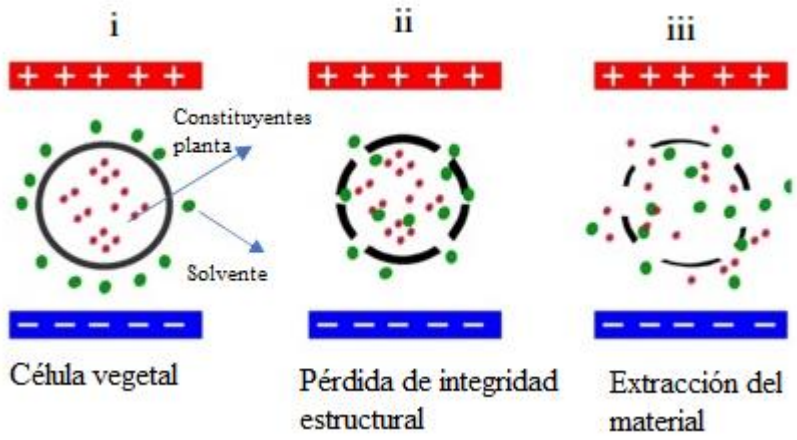
Es un proceso no térmico en el que se aplica un campo eléctrico externo a una célula durante un período muy corto (desde varios nanosegundos hasta varios milisegundos), esta técnica también se conoce como electroporación o electropermeabilización (Chemat et al., 2017). El principio de los (PEF) radica en incrementar la extracción mediante la ruptura de las estructuras de las membranas celulares (Basri et al., 2021). Este proceso se lleva a cabo aplicando una carga eléctrica que separa las moléculas de las membranas celulares, aprovechando su naturaleza dipolar; cuando el potencial transmembrana alcanza un valor crítico, aproximadamente 1 V, las moléculas cargadas empiezan a repelerse mutuamente. Esta repulsión intensifica los poros en las regiones más débiles de las membranas, incrementando así su permeabilidad y facilitando la extracción de contenidos celulares (Sagar et al., 2018).

En la figura 21 se puede observar el principio de extracción de los PEF, donde la electroporación implica la aplicación de una fuerza eléctrica externa que incrementa la permeabilidad de las membranas celulares, permitiendo así la creación de poros hidrofílicos que actúan como canales en la membrana celular. (i) Durante el tratamiento, los alimentos o cualquier material objetivo se sitúan entre dos electrodos, y al aplicar un campo eléctrico de alto voltaje, se generan pulsos eléctricos que atraviesan la muestra. (ii) Esta aplicación de fuerza eléctrica induce un campo eléctrico que descompone la estructura funcional de la

membrana celular, resultando en la formación de poros y la posterior pérdida de su integridad estructural. Como resultado, se facilita la extracción del material de las células vegetales (Ranjha et al., 2021).

Figura 21

Principio de la extracción PEF



Fuente. Adaptado de Ranjha et al., 2021.

La eficacia de la electropermeabilización o electroporación en las membranas celulares se ve afectada por una variedad de parámetros del proceso y factores relacionados con el material a tratar. Estos incluyen (Chemat et al., 2017):

- Parámetros del proceso:
    - Intensidad del campo eléctrico: Nivel de fuerza aplicada a la célula.
    - Tiempo de tratamiento: Duración de la aplicación del campo eléctrico.
    - Energía específica: Cantidad de energía aplicada por unidad de masa.
    - Forma del pulso: Puede ser cuadrado, exponencial, entre otros.
    - Ancho del pulso: Duración de cada pulso individual.
    - Frecuencia: Número de pulsos aplicados por segundo.
    - Temperatura: Temperatura durante el tratamiento.

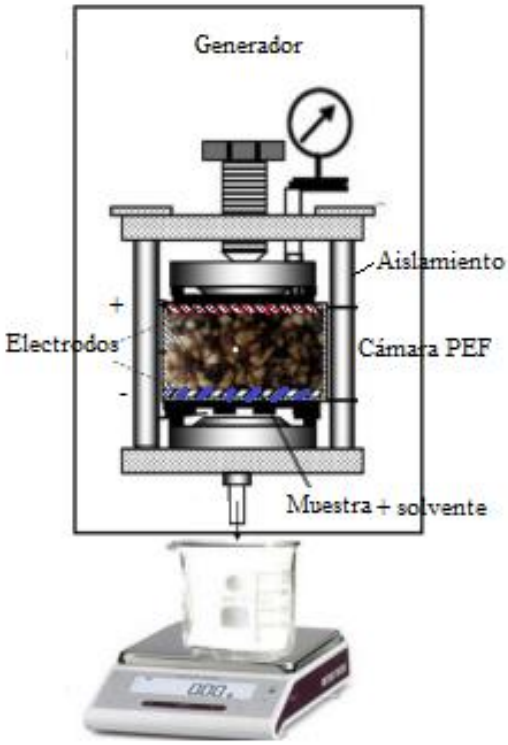
- Modo de tratamiento:
    - Batch: Tratamiento por lotes.
    - Continuo: Tratamiento en un flujo constante.
- Configuración de la cámara de tratamiento:
    - Colineal, coaxial y paralela: Diferentes disposiciones de electrodos que afectan la distribución del campo eléctrico.
- Características fisicoquímicas de la matriz tratada:
    - pH: Nivel de acidez o basicidad de la matriz.
    - Conductividad: Capacidad de la matriz para conducir electricidad.
- Características de las células tratadas:
    - Tamaño y forma: Dimensiones y geometría de las células.
    - Estructura de la membrana y envoltura: Composición y arquitectura celular.
    - Estado: Si las células están en suspensión, sólidas o en estado semisólido.

Todos estos factores interactúan y pueden influir en el grado de permeabilización y, por consiguiente, en la efectividad del tratamiento PEF para diferentes aplicaciones, incluyendo la extracción de compuestos bioactivos (Chemat et al., 2017).

La figura 22 muestra un montaje experimental y procedimiento aplicado a la extracción de hongos de la especie *Agaricus bisporus* mediante la tecnología PEF. Un sistema PEF por lotes está compuesto por los electrodos, la cámara PEF y el panel de control generador PEF (Costa, 2016).

Figura 22

Montaje experimental sistema PEF por lotes



Fuente. Adaptado de Costa, 2016.

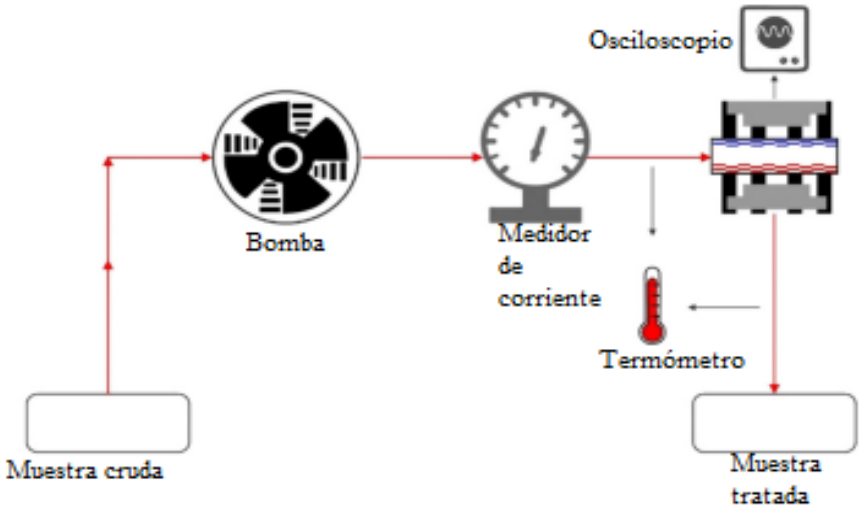
El proceso de extracción por campo eléctrico pulsado (PEF) en modo batch ha demostrado ser eficaz para aumentar la extracción de compuestos de interés en diferentes matrices. No obstante, uno de los desafíos clave de este método es el aumento en el tiempo de operación debido a la naturaleza intrínseca de los sistemas batch, que suelen tener una capacidad limitada y requieren una intervención manual considerable entre cada ciclo (Vivanco et al., 2021).

Para superar estas limitaciones y hacer viable la tecnología PEF a nivel industrial, es esencial desarrollar un sistema que pueda operar bajo condiciones regulares y continuas, garantizando una mayor eficiencia y capacidad. El diseño de sistemas continuos, como el

observado en la figura 23, permite el tratamiento ininterrumpido de la muestra, aumentando la capacidad de procesamiento y reduciendo los tiempos muertos entre lotes (Ranjha et al., 2021).

Figura 23

Sistema de extracción continua PEF



Fuente. Adaptado de Ranjha et al., 2021

La tecnología de campos eléctricos pulsados (PEF) se destaca en la extracción de compuestos bioactivos, facilitando la transferencia de masa por incremento en la permeabilidad de la membrana celular. Esto permite reducir el tiempo de extracción en comparación con métodos convencionales. La aplicación de PEF a intensidades moderadas (500 a 1000 V/cm por 10^{-4} a 10^{-2} segundos) provoca daño en la membrana celular de tejidos vegetales con un mínimo incremento térmico, reduciendo así la degradación térmica de sustancias sensibles. Además, se beneficia de una menor demanda energética y el uso de solventes ecológicos, resaltando su eficiencia y sostenibilidad (Rodríguez & Raghavan, 2022; Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

Una limitación significativa de la tecnología de campos eléctricos pulsados (PEF) es que demanda equipos especializados diseñados para manejar las altas intensidades de campo eléctrico necesarias. Estos equipos no solo representan un reto en términos de diseño y costo, sino que también requieren una operación cuidadosa y precisa. Para obtener resultados óptimos y garantizar la seguridad, es crucial controlar con exactitud parámetros del proceso como la entrada de energía, la temperatura durante el tratamiento y la intensidad del campo eléctrico. Estos requisitos de precisión y especialización hacen que la implementación de la tecnología PEF sea más compleja y rigurosa (Ali et al., 2022).

Otra desventaja a tener en cuenta es que el uso de PEF no es adecuado para productos con alta conductividad eléctrica como las soluciones salinas o los productos con alto contenido de iones, porque la baja resistencia que resulta puede comprometer la eficacia del método, afectar la seguridad del proceso y reducir el control sobre las condiciones de extracción (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

En 2022, Carpentieri y colaboradores investigaron cómo optimizar la extracción de compuestos fenólicos del orujo de uva blanca mediante campos eléctricos pulsados (PEF). Los resultados mostraron que el uso de PEF puede reducir el uso de solventes y el tiempo de extracción, mientras mejora la recuperación de compuestos fenólicos. Los extractos tratados con PEF presentaron mayores valores de fenoles totales (8 %), flavonoides (31 %) y actividad antioxidante (36 %) (Carpentieri et al., 2022).

En el estudio realizado por Frontuto et al. (2019) sobre la optimización de la extracción de polifenoles de cáscaras de patata mediante campos eléctricos pulsados (PEF), utilizando la metodología de superficie de respuesta, se identificaron las condiciones óptimas para maximizar la extracción de compuestos polifenólicos con actividad antioxidante significativa. El PEF demostró ser una técnica eficaz para la desintegración

celular, lo cual fue verificado mediante mediciones de impedancia y microscopía electrónica (Frontuto et al., 2019).

El trabajo de Barbosa-Pereira et al. (2018), se enfocó en explorar los efectos de los campos eléctricos pulsados (PEF) como pretratamiento en la recuperación de polifenoles y metilxantinas de dos subproductos: la cáscara de cacao (CBS) y la piel plateada del café (CS). Comparando con métodos convencionales, el estudio encontró que la extracción asistida por PEF logró incrementar significativamente los rendimientos, alcanzando aproximadamente un 20% más en la recuperación de dichos compuestos (Barbosa-Pereira et al., 2018).

Extracción Asistida por Enzimas (EAE)

Esta técnica se utiliza en el proceso de obtención de compuestos bioactivos, ya sea en etapas de pre-extracción o directamente en la extracción. Este método implica la destrucción de la pared celular de las plantas para liberar el compuesto bioactivo, que suele estar adherido a cadenas de carbohidratos y lípidos. Las enzimas clave en este proceso incluyen la pectinesterasa, celulasa, fructosiltransferasa, hemicelulasa, α-amilasa, pectinasa y proteasa (Rodríguez & Raghavan, 2022; Sorrenti et al., 2023).

Los fitoquímicos en las células vegetales frecuentemente están adheridos a componentes de la pared celular, lo cual puede dificultar su extracción mediante métodos convencionales que utilizan solventes. El uso de enzimas en el pretratamiento de la muestra es una técnica efectiva para superar esta barrera. Las enzimas específicas tienen la capacidad de romper o modificar las estructuras de la pared celular, liberando así los compuestos fitoquímicos que están unidos a ella (Uddin et al., 2018).

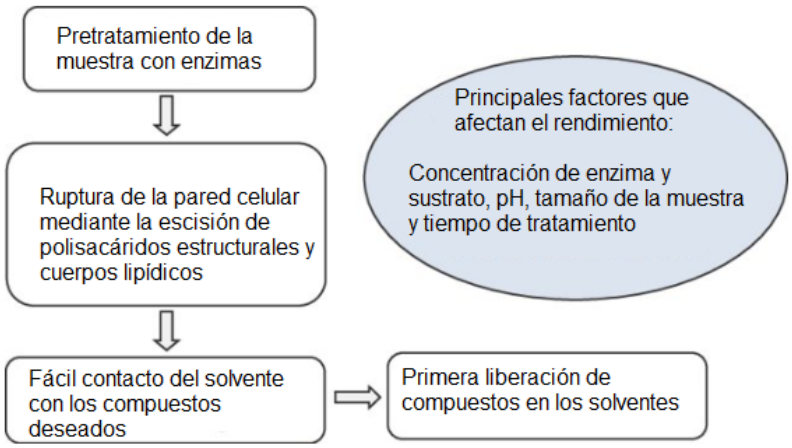
La técnica de EAE opera mediante la descomposición o alteración de los componentes de la pared celular vegetal, lo que facilita la liberación de compuestos

fenólicos, ya sea desprendiéndolos de su estado unido o permitiendo su difusión desde las vacuolas celulares. Esta eficacia de la EAE se atribuye principalmente a la especificidad con la que estas biomoléculas interactúan con su sustrato. Además de extraer compuestos fenólicos, las enzimas pueden incrementar la bioactividad de los extractos al descomponer compuestos de alto peso molecular en otros de menor peso molecular a través de procesos de hidrólisis (Cascaes et al., 2020).

En la figura 24 se observa el diagrama del proceso de pretratamiento de la muestra mediante enzimas, el proceso puede incluir la hidrólisis de polisacáridos, la descomposición de proteínas o la modificación de otros componentes de la pared celular. Al hacer esto, las enzimas facilitan que los solventes accedan y extraigan los compuestos fitoquímicos de interés (Uddin et al., 2018).

Figura 24

Mecanismo de EAE



Fuente. Adaptado de Uddin et al., 2018.

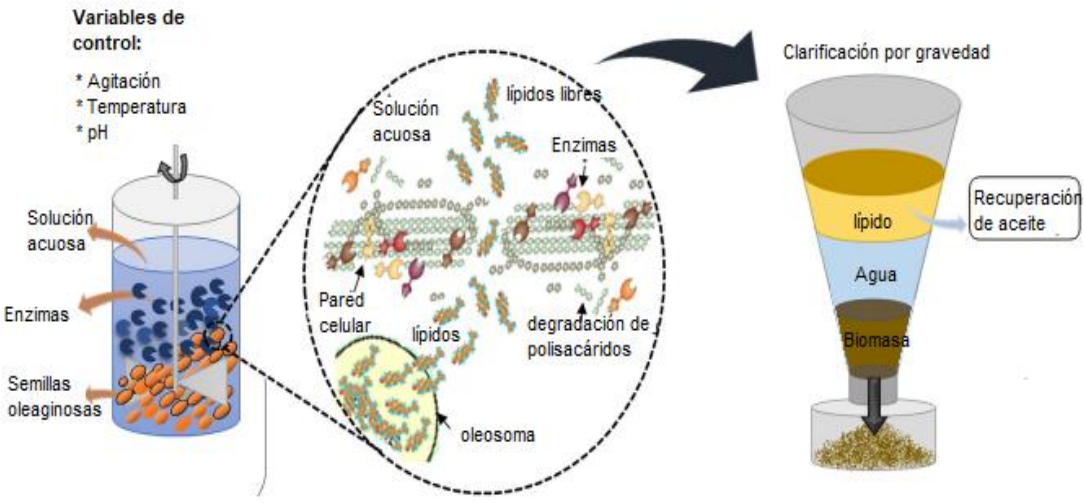
En el proceso de Extracción Asistida por Enzimas (EAE), existen dos enfoques principales (Selvamuthukumaran & Shi, 2017):

Extracción Acuosa Asistida por Enzimas (EAAE): Este método se ha desarrollado principalmente para la extracción de aceites de diversas semillas. En el EAAE, el proceso implica el uso de un medio acuoso para facilitar la extracción. Las enzimas desempeñan un papel clave en la descomposición de las paredes celulares o en la modificación de los componentes de la semilla para hacer más accesibles los aceites y otros compuestos bioactivos (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

Esta técnica se puede utilizar en la extracción de aceite de semillas oleaginosas donde se emplean diferentes enzimas como hemicelulasas, celulasas o proteasas. Este método permite la hidrólisis de la pared celular y facilita la recuperación y extracción de aceites. En la figura 25 se observa el EAAE en el bioprocesamiento de separación de aceite (Valladares-Diestra et al., 2020).

Figura 25

Mecanismo de EAAE



Fuente. Adaptado de Valladares-Diestra et al., 2020

Prensado en Frío Asistido por Enzimas (EACP): A diferencia del EAAE, el EACP utiliza enzimas para hidrolizar las paredes celulares de las semillas sin la presencia de un medio acuoso. Este enfoque es notable porque en él no está disponible el coloide polisacárido-proteína que sí está presente en el proceso EAAE. El EACP es una técnica que se centra en preservar la calidad del aceite extraído, minimizando la exposición al calor y a solventes, lo que a menudo se prefiere para mantener las propiedades naturales y la calidad del aceite (Selvamuthukumaran & Shi, 2017).

Entre las ventajas de esta técnica se puede destacar que es ambientalmente amigable y segura, ya que evita el uso de solventes orgánicos peligrosos (Liu et al., 2016). Además, los productos obtenidos a través de EAE suelen tener una calidad superior, manteniendo mejor las propiedades y la funcionalidad de los compuestos extraídos (Chiang & Lai, 2019). Otra ventaja significativa de esta técnica es que las enzimas, actúan como catalizadores perfectos, operan con precisión y regioselectividad al extraer compuestos bioactivos de matrices vegetales, lo cual, conlleva a un incremento en la eficiencia y el rendimiento del proceso (Malik & Mandal, 2022).

Una desventaja a considerar es que el costo de las enzimas puede incrementar los costos de producción, especialmente si se requieren enzimas especificas o de alta calidad (Patil et al., 2021). Además, otra desventajas de la EAE es que puede requerir más tiempo para alcanzar los valores máximos de compuestos extraídos (Ngamwonglumlert et al., 2017).

Adicionalmente, la selección de condiciones óptimas para los procesos puede ser complicada, ya que estas deben ser adaptadas específicamente a las características de las materias primas, como el tipo de enzima, el tamaño de las partículas y la hidratación. Asimismo, se debe considerar las propiedades de los metabolitos y de la enzima utilizada,

incluyendo aspectos como la temperatura, la concentración, el pH y la duración del proceso (Łubek-Nguyen et al., 2022).

En un estudio realizado por Abbassi y colaboradores en 2018, se investigó el impacto del uso de enzimas como la celulasa, la hemicelulasa y una combinación de ambas en proporciones iguales (celulasa:hemicelulasa; 1:1) para optimizar la extracción de aceites esenciales de las semillas de cilantro (*Coriandrum sativum L*.), así como de los subproductos resultantes del proceso de destilación que contienen compuestos fitoquímicos de valor añadido, como los ácidos grasos y fenoles. Los resultados mostraron un aumento significativo en la recuperación de aceites esenciales. Adicionalmente, se notó una liberación más eficiente de fenoles y flavonoides en los subproductos hidrodestilados tratados con celulasa (Abbassi et al., 2018).

En 2020, se llevó a cabo una investigación sobre los residuos de uva, específicamente el orujo. Los resultados mostraron que al unir la técnica de extracción asistida por enzimas con la aplicación de alta presión hidrostática (HHP), se potenció la eficacia de las enzimas empleadas en el proceso extractivo. Esta sinergia resultó ser más efectiva que el uso exclusivo de la extracción asistida por enzimas (EAE), brindando una estrategia más económica y eficiente para la recuperación de compuestos fenólicos presentes en el orujo de uva, un subproducto industrial de menor valor (Cascaes et al., 2020).

Ricarte et al. (2020), exploraron la extracción de carotenoides y compuestos fenólicos utilizando enzimas y disolventes ecológicos a partir de desechos de girasol, como pétalos y florecillas. Concluyeron que entender las propiedades fisicoquímicas de los disolventes es crucial para optimizar el diseño de estos en procesos de extracción asistidos por enzimas (Ricarte et al., 2020).

Tabla 8

Técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y hortalizas

Fuente	Residuo	Técnica	Parámetros Técnicos	Compuesto Bioactivo	Referencia
Granada (*Punica granatum* L.)	Semillas	Extracción Soxhlet	Muestra= 5 g Disolvente= Éter etílico 60 min de inmersión 30 min de lavado	Ácidos grasos conjugados: Isómeros del ácido linoleico conjugado (CLnA), predominantemente ácido punícico	Beghè et al (2022).
Café (*Coffea arabica*)	Pulpa	Extracción Soxhlet	Disolvente= etanol 95% Tiempo= 12 h Pulpa: solvente= 1:15	Polifenoles: Ácido cumárico (PCA), ácido clorogénico (CA), ácido ferúlico (5-FQA), ácido caféico (3-5 CQA)	Vidal et al (2022).
Limón (*Citrus aurantifolia*)	Cáscara	Hidrodestilación	Muestra= 100 g Agua= 1:6 Tiempo= 90 min equipo de destilación= Clevenger	Antioxidantes: Aceite esencial D-Limoneno	Cañavi (2022).
Pomelo (*Citrus maxima*)	Cáscara	Hidrodestilación	Muestra= 500 g Agua= 3 l Tiempo= 46,418 min Tamaño = 1,942 cm	Antioxidantes: Aceite esencial D-Limoneno	Colina-Márquez et al (2022).
Chokeberry *(Aronia melanocarpa)*	Pulpa	Maceración	Tamaño=0,75 mm Solvente= Etanol 50% Relación sólido-disolvente de 1:20	Antocianina (cianidina-3-galactósido, cianidina-3-arabinósido y la cianidina-3- glucósido), flavonoides (quercetina)	Ujic et al (2016).
Granada (*Punica granatum L., Punicaceae*)	Cáscara	Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)	Tiempo de extracción= 25 min Concentración de etanol= 59% Relación sólido-disolvente= 1:44	Polifenoles: ácido elágico, ácido gálico, punicalina y punicalagin	Živković et al (2018).

Fuente	Residuo	Técnica	Parámetros Técnicos	Compuesto Bioactivo	Referencia
			Temperatura de extracción= 80 °C		
Manzana	Semilla	Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)	Tiempo de extracción= 30 min Concentración de metanol= 80% Relación sólido-disolvente= 1:10 Temperatura de extracción= ambiente	Polifenol: Floridzina	Gunes et al (2019).
kinnow (*Citrus reticulata L.*)	Cáscara	Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)	Relación muestra-disolvente= 1:20 Tiempo de extracción= 60 minutos Concentración de metanol= 80% Temperatura de extracción= 45°C Frecuencia de ultrasonido= 35 kHz	11 compuestos fenólicos (ácido gálico, ácido clorogénico, ácido ferúlico, ácido cumárico, ácido cafeico, catequinas, epicatequinas, hesperidina, naringenina, quercetina, kaempferol)	Safdar et al (2017).
Gac (*Momordica cochinchinensis Spreng*)	Cáscara	Extracción Asistida por Microondas (MAE)	Disolvente= Acetato de etilo Relación disolvente/muestra= 80:1 mg/l Potencia= 120 W Tiempo= 25 min Temperatura= < 60 °C	Carotenoides: Licopeno y β-caroteno	Chuyen et al (2018).
Cacao (*Theobroma cacao L)*	Cáscara	Extracción Asistida por Microondas (MAE)	Disolvente= Etanol Relación disolvente: muestra = 1:33 Tiempo= 10 min Temperatura= 70° C	Polifenol: Catequina	Rahayu et al (2019).

Fuente	Residuo	Técnica	Parámetros Técnicos	Compuesto Bioactivo	Referencia
Pitaya (*Hylocereus polyrhizus)*	Cáscara	Extracción Asistida por Microondas (MAE)	Disolvente= Agua Relación disolvente/muestra= 0,024 (m/v) Potencia= 400 W Tiempo= 20 min Temperatura= 45 °C	Contenido fenólico total (TPC)	Zain & Nazeri (2016).
Achiote *(Bixa orellana)*	Semillas	Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE)	Muestra = 11 g Disolvente = CO_2 99,9% de pureza Presión= 5076 psi Temperatura= 45 °C Densidad CO_2= 0,83 g/mL	β-ciclodextrina (β-CD) (actividad antioxidante)	Meñaca et al (2018).
Calabaza (*Cucurbita maxima*)	Semillas/ cáscara	Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE)	Muestra = 60 g Disolvente = CO_2 99,9% de pureza Disolvente = CO_2 subcrítico 293 K	Compuestos fenólicos, fitoesteroles, tocoferoles	Cuco et al (2019).
Granada (*Punica granatum L.*)	Semilla	Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE)	Muestra = 0.1 kg de semillas de granada molidas Disolvente = CO_2 supercrítico Presión= 320 bar Temperatura= 60 °C Tiempo= 180 min	Ácidos grasos (ácido púnico)	Natolino & Da Porto (2019).
Uvas (*Vitis vinífera*)	Orujo	Campo Eléctrico Pulsado (PEF)	Temperatura = 50 °C Intensidad del campo eléctrico E = 3.8 kV/cm Entrada de energía WT = 10 kJ/kg	Polifenoles: Picatequina, ácido p-cumárico y quercetina	Carpentieri et al (2022).

Fuente	Residuo	Técnica	Parámetros Técnicos	Compuesto Bioactivo	Referencia
Papa (*Solanum tuberosum*)	Cáscara	Campo Eléctrico Pulsado (PEF)	Temperatura = 50 °C Intensidad del campo eléctrico E = 1 kV/cm Entrada de energía WT = 5 kJ/kg	Polifenoles: Ácidos clorogénico, cafeico, siríngico, protocatecuico y p-cumárico	Frontuto et al (2019).
Cacao (*Theobroma cacao L)*	Cáscara	Campo Eléctrico Pulsado (PEF)	Intensidad del campo eléctrico E = 1,74 kV/cm Número de pulsos de 991.28	Polifenoles y metilxantinas (cafeína, teobromina)	Barbosa-Pereira et al (2018).
Café (*variedad arabica y robusta)*	Piel plateada		Intensidad del campo eléctrico E = 1,37 kV/cm Número de pulsos de 1000		
Cilantro (*Coriandrum sativum L.*)	Semillas	Extracción Asistida por Enzimas (EAE)	Enzima= Celulasa Concentración= 10 mg/100 g Tiempo= 1 hora Temperatura= 40 °C	Compuestos Fenólicos Totales (TPC) Contenido total de flavonoides (TFC)	Abbassi et al (2018).
Uva (*Alicante Bouschet*)	Orujo (hollejos, semillas y raspones)	Extracción Asistida por Enzimas (EAE)	Enzima= Celulasa, pectinasa Relación sólido: líquido de 1:8 Agitación= 100 rpm Temperatura= 32 °C	Polifenoles: Proantocianidinas	Cascaes et al (2020).
Girasol (*Helianthus annuus L*)	Pétalos y floretes	Extracción Asistida por Enzimas (EAE)	Enzima= Complejo multienzimatico Concentración= 0,25% en volumen Agitación= 200 rpm Temperatura= 40 °C Tiempo = 2 h	Carotenoides y compuestos fenólicos	Ricarte et al (2020).

Fuente. Autores

Diagramas de Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos

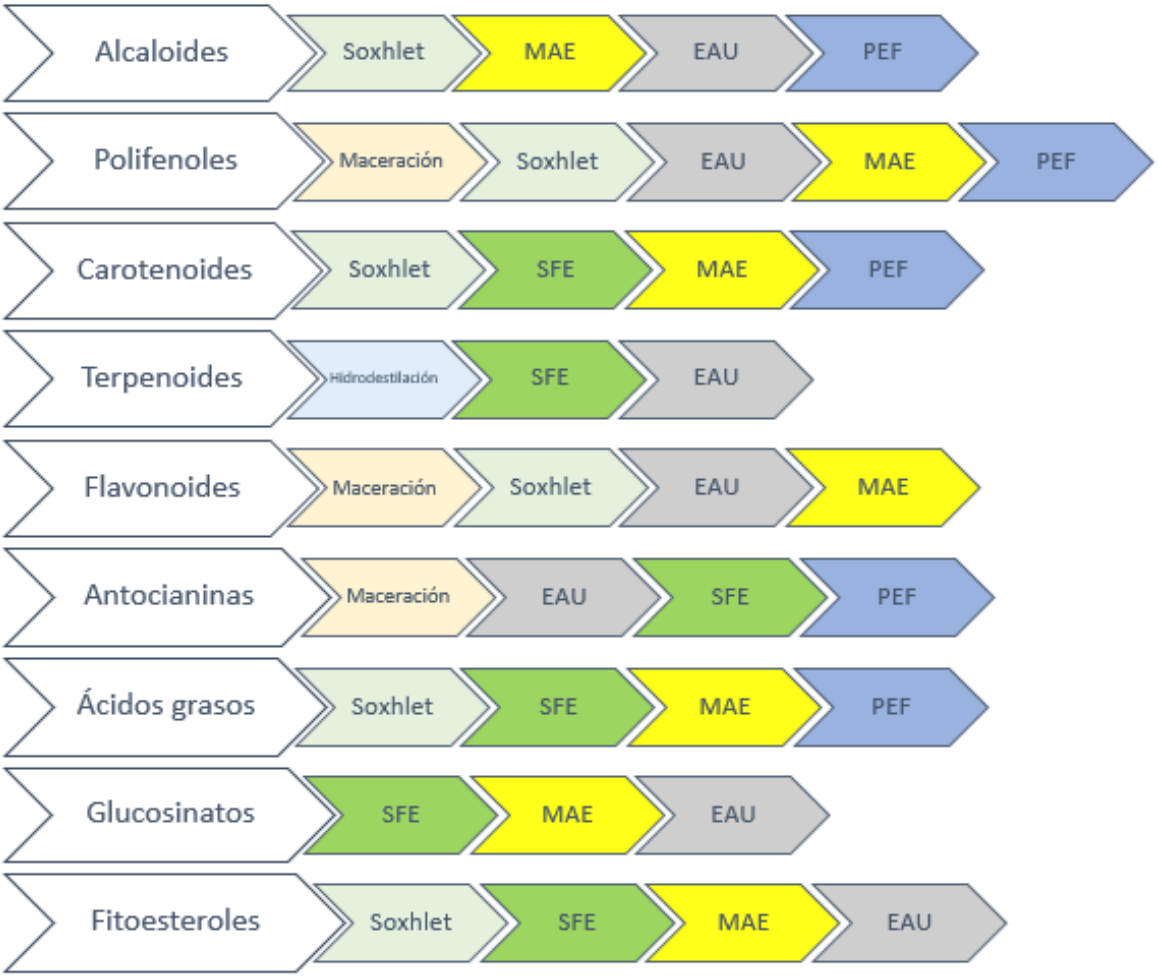
Para facilitar la comprensión y selección de la técnica más apropiada según el tipo de compuesto bioactivo, se han diseñado varios diagramas y una tabla comparativa. Estos recursos visuales no solo resumen las técnicas de extracción, sino que también proporcionan una guía clara sobre las ventajas y desventajas de cada metodología, ayudando así en la toma de decisiones informada para proyectos de investigación y aplicaciones industriales.

Estos recursos son el resultado de una revisión exhaustiva y detallada, con el objetivo de proporcionar información precisa y relevante que apoye el aprovechamiento eficiente y sostenible de los residuos de frutas y verduras en la extracción de compuestos bioactivos de alto valor.

El diagrama presentado en la figura 26 es una representación visual de las técnicas de extracción para diferentes compuestos bioactivos. Cada fila corresponde a un tipo de compuesto bioactivo, y las flechas indican las diferentes técnicas de extracción recomendadas para cada uno.

Figura 26

Selección de Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos Dependiendo del compuesto bioactivo



Fuente. Autores

A continuación, se presentan las siglas y sus significados:

- **EAU**: Extracción Asistida por Ultrasonido

- **MAE**: Extracción Asistida por Microondas

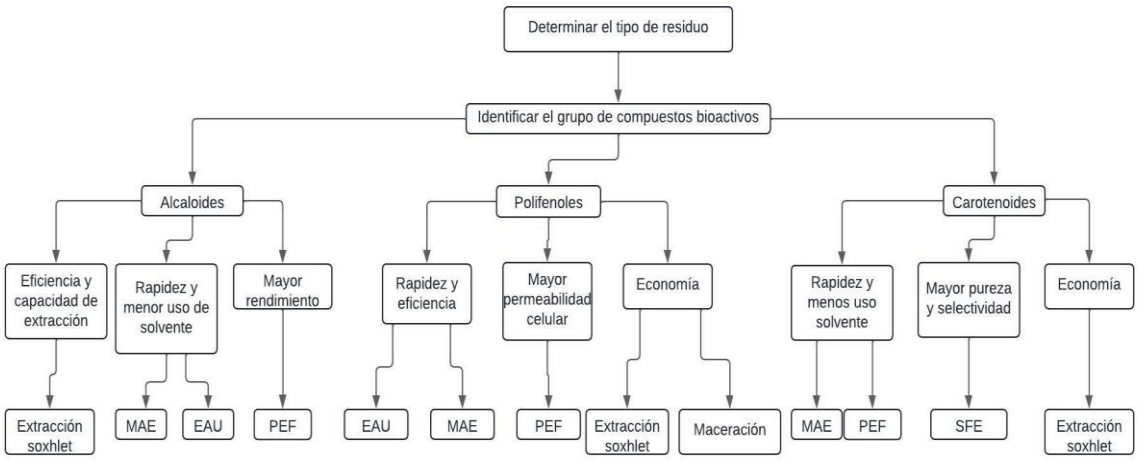
- **PEF:** Campo Eléctrico Pulsado

- **SFE:** Extracción con Fluidos Super Críticos

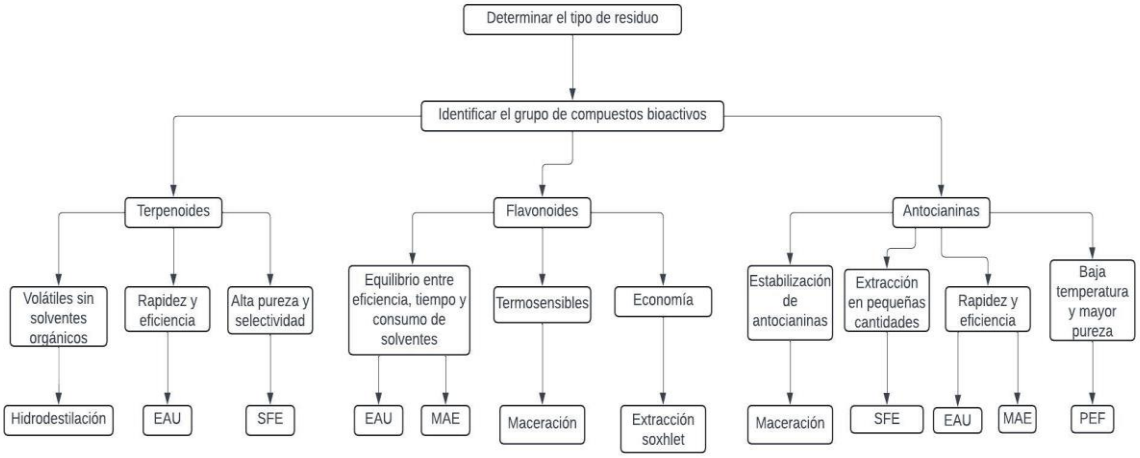
El proceso de selección de la técnica de extracción adecuada depende de diversos factores, incluyendo la naturaleza del residuo y las características específicas del compuesto bioactivo de interés. En la figura 27 se presenta un diagrama donde se muestra la selección de diferentes técnicas de extracción y se consideran criterios como la eficiencia y capacidad de extracción, rapidez y menor uso de solvente, mayor rendimiento, economía y pureza y selectividad, entre otros.

Figura 27

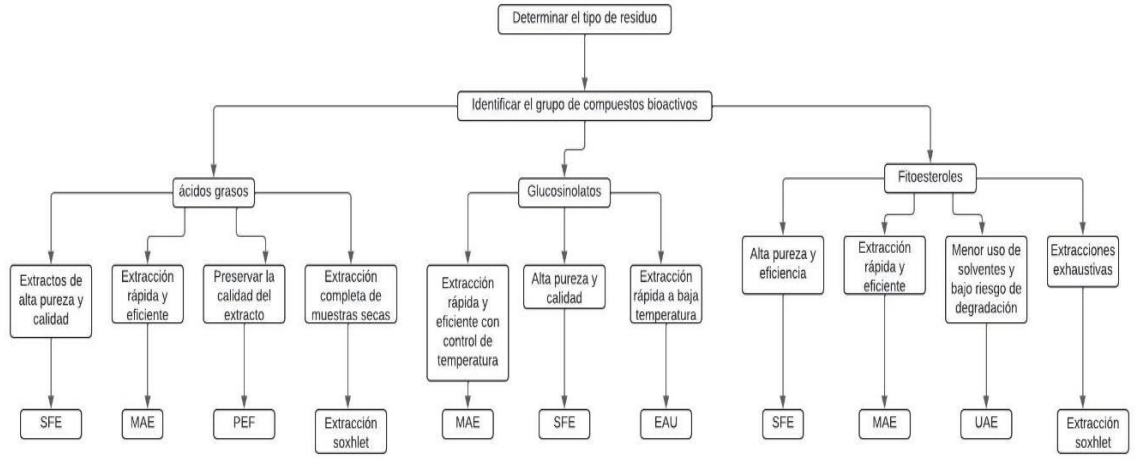
Selección de Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos Dependiendo del compuesto bioactivo



Selección de técnicas de extracción para alcaloides, polifenoles y carotenoides (A)



Selección de técnicas de extracción para terpenoides, flavonoides y antocianinas (B)



Selección de técnicas de extracción para ácidos grasos, glucosinolatos y fitoesteroles (C)

Fuente. Autores

La tabla 9 presenta una comparación detallada de varias técnicas de extracción para diferentes grupos de compuestos bioactivos, incluyendo alcaloides, polifenoles, carotenoides, terpenoides, flavonoides, antocianinas, ácidos grasos, glucosinolatos y fitoesteroles. Para cada técnica, se destacan las ventajas y desventajas, proporcionando una guía útil para la selección de la metodología más apropiada en función de las necesidades específicas de cada proyecto de investigación o aplicación industrial.

Tabla 9

Técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y hortalizas

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
	Alcaloides	
Extracción Soxhlet	• Permite la extracción eficiente de alcaloides sin la necesidad de reemplazar el solvente. • Automatización del proceso.	• Requiere equipo especializado. • Puede ser más lenta que otras técnicas.
Extracción asistida por microondas (MAE)	• Rápida y eficiente. • Reduce el tiempo de extracción significativamente.	• Requiere equipo especializado. • Puede no ser adecuado para todos los tipos de alcaloides.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Rápida y eficiente. • Puede mejorar la extracción de alcaloides sin necesidad de altas temperaturas.	• Puede ser menos efectiva para compuestos que no responden bien a la ultrasonicación.
Campo eléctrico pulsado (PEF)	• La aplicación de PEF puede mejorar la liberación de alcaloides de las células vegetales, aumentando el rendimiento de extracción.	• Requiere equipo especializado • Riesgo de degradación si los parámetros no son óptimos
	Polifenoles	
Maceración	• Alta eficiencia en la extracción de polifenoles. • Solventes comunes y de bajo costo. • Adecuada para muestras sensibles al calor.	• Puede extraer también otros compuestos no deseados. • Necesidad de eliminar el solvente después de la extracción. • Baja eficiencia de extracción • Uso elevado de solventes
Extracción Soxhlet	• Alta eficiencia de extracción. • Menor intervención manual una vez iniciado el proceso.	• Requiere equipo especializado. • Consumo de tiempo y solventes. • No adecuado para compuestos termo-lábiles.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Aumenta la eficiencia de extracción. • Menor tiempo de extracción.	• Puede ser costosa debido al equipo especializado.

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
	• Reduce la cantidad de solvente necesario.	• No adecuada para compuestos extremadamente sensibles. • Requiere ajuste óptimo de parámetros (frecuencia, potencia, tiempo).
Extracción Asistida por Microondas (MAE)	• Rápida y eficiente. • Reduce el tiempo de extracción significativamente. • Mayor selectividad	• Requiere equipo especializado. • Puede no ser adecuada para todos los tipos de polifenoles (sensibles al calor y a la radiación microondas).
Campo eléctrico pulsado (PEF)	• Aumenta la permeabilidad celular facilitando la liberación de polifenoles. • Reducción del tiempo de extracción y consumo de solventes.	• Requiere equipo especializado y control preciso de los parámetros de pulso. • Eficiencia puede variar dependiendo de la matriz y de la composición del material vegetal.
	Carotenoides	
Extracción Soxhlet	• Alta eficiencia en la extracción de carotenoides. • Menor intervención manual una vez iniciado el proceso. • Permite la reutilización del solvente.	• Requiere equipo especializado. • Consumo de tiempo y solventes. • No adecuado para compuestos termo-lábiles (luteína, zeaxantina, licopeno, beta-criptoxantina, alfa-caroteno, beta-caroteno)
Extracción con fluidos super críticos (SFE)	• Alta pureza y selectividad en la extracción. • Uso de solventes no tóxicos (CO_2 supercrítico). • Eficiencia en la extracción de compuestos termo-lábiles.	• Costo elevado del equipo y operación. • Requiere condiciones específicas de temperatura y presión. • Complejidad en la operación y mantenimiento del equipo.
Extracción asistida por microondas (MAE)	• Rápida y eficiente. • Reduce el tiempo de extracción significativamente. • Mayor selectividad y capacidad para extraer carotenoides	• Requiere equipo especializado. • Puede no ser adecuada para todos los tipos de carotenoides (luteína, zeaxantina, beta-criptoxantina, astaxantina, fucoxantina)

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
Campo eléctrico pulsado (PEF)	• Aumenta la permeabilidad celular facilitando la liberación de carotenoides. • Reducción del tiempo de extracción y consumo de solventes. • Puede ser aplicada a diferentes solventes (hexano, acetona, etil acetato, metanol, etanol, cloroformo y combinación de solventes)	• Tecnología relativamente nueva y costosa. • Requiere equipo especializado y control preciso de los parámetros de pulso. • Eficiencia puede variar dependiendo de la matriz y de la composición del material vegetal.
	Terpenoides	
Hidrodestilación	• Eficiente para terpenoides volátiles (limoneno, linalool, citral, mentol, beta-cariofileno, humuleno, farneseno, timol, cafestol y kahweol) • No requiere solventes orgánicos. • Técnica bien establecida y ampliamente utilizada.	• Consumo de energía significativo. • Posible degradación térmica de compuestos sensibles.
Extracción con fluidos super críticos (SFE)	• Técnica respetuosa con el medio ambiente. • Alta selectividad y pureza del extracto. • No deja residuos de solventes.	• Equipos y operación costosos. • Requiere condiciones de alta presión.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Aumenta la eficiencia de extracción. • Menor tiempo de extracción. • Reduce la cantidad de solvente necesario.	• Requiere equipo especializado. • Puede no ser adecuada para todos los tipos de terpenoides (limoneno, beta-cariofileno, humuleno, lupeol, ácido ursólico)
	Flavonoides	
Maceración	• Alta eficiencia de extracción. • Relativamente simple y rápida. • la maceración a baja temperatura es apta para flavonoides sensibles al calor	• Puede requerir grandes cantidades de solventes. • Pueden ser necesarios pasos adicionales de purificación.
Extracción Soxhlet	• Alta eficiencia de extracción.	• Requiere equipo especializado.

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
	• Menor intervención manual una vez iniciado el proceso.	• Consumo de tiempo y solventes.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Aumenta la eficiencia de extracción. • Menor tiempo de extracción. • Reduce la cantidad de solvente necesario.	• Requiere equipo especializado. • Requiere parámetros optimizados para evitar la degradación térmica de los flavonoides sensibles al calor.
Extracción asistida por microondas (MAE)	• Rápida y eficiente. • Reduce el tiempo de extracción significativamente.	• Requiere equipo especializado. • Puede no ser adecuada para todos los tipos de flavonoides (quercetina, catequinas, kaempferol, Epicatequina, naringenina, apigenina).
	Antocianinas	
Maceración	• Si se utilizan solventes acuosos ácidos como ácido clorhídrico diluido en combinación con etanol o metanol, el pH ácido estabiliza las antocianinas. • Alta eficiencia en la extracción de antocianinas.	• Requiere manipulación cuidadosa de ácidos. • Necesidad de neutralización y eliminación de solventes después de la extracción.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Aumenta la eficiencia de extracción. • Menor tiempo de extracción. • Reduce la cantidad de solvente necesario	• Requiere equipo especializado. • Puede causar cierta degradación si no se controla adecuadamente.
Extracción con fluidos super críticos (SFE)	• Técnica respetuosa con el medio ambiente. • Alta selectividad y pureza del extracto. • No deja residuos de solventes.	• Equipos y operación costosos. • Requiere condiciones de alta presión.
Campo eléctrico pulsado (PEF)	• Aumenta significativamente la eficiencia de extracción de antocianinas al permeabilizar las membranas celulares • Minimiza la degradación térmica de las antocianinas y preserva su actividad biológica.	• Inversión inicial considerable en equipos especializados • Depende de la correcta optimización de los parámetros del campo eléctrico (intensidad, duración de los pulsos, frecuencia), lo cual puede requerir tiempo y experimentación.

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
	• Método más ecológico y seguro al reducir el volumen de solventes • Permite una extracción más selectiva de antocianinas	• La escalabilidad del PEF para la producción industrial aún enfrenta desafíos técnicos y económicos
	Ácidos Grasos	
Extracción Soxhlet	• Alta eficiencia de extracción. • Ideal para muestras secas. • Funciona bien con muestras que se pueden mantener en contacto continuo con el solvente.	• Consumo de tiempo y solventes. • Requiere equipo especializado.
Extracción con fluidos super críticos (SFE)	• Ideal para obtener ácidos grasos de alta calidad y pureza. • Usa solvente amigable con el medio ambiente. • Se realiza a temperaturas moderadas, evitando la degradación térmica.	• Equipo costoso y complejo. • Requiere experiencia técnica para operar y optimizar.
Extracción asistida por microondas (MAE)	• Rápida y eficiente. • Reduce el tiempo de extracción significativamente. • Minimiza el uso de solventes	• Requiere equipo especializado.
Campo eléctrico pulsado (PEF)	• Se realiza a bajas temperaturas, lo que ayuda a minimizar la degradación térmica de los ácidos grasos, preservando su calidad y propiedades nutricionales • Aumento de eficiencia de extracción	• Requiere equipos especializados • La implementación a gran escala de la tecnología PEF puede enfrentar desafíos técnicos y económicos
	Glucosinolatos	
Extracción asistida por microondas (MAE)	• Reduce significativamente el tiempo de extracción • Puede realizarse con menores volúmenes de solventes. • Eficiente en la recuperación de glucosinolatos sin degradarlos.	• Requiere inversión en equipos especializados • Necesita optimización de parámetros específicos para evitar la degradación de compuestos sensibles.

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
Extracción con fluidos super críticos (SFE)	• Utiliza CO_2 supercrítico, un solvente amigable con el medio ambiente. • Permite obtener extractos de glucosinolatos de alta pureza. • Se realiza a temperaturas moderadas, minimizando la degradación térmica.	• Requiere equipos costosos y experiencia técnica. • La eficiencia puede variar dependiendo de la matriz de la muestra.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Reduce el tiempo de extracción • Puede realizarse con menores volúmenes de solventes. • Minimiza el riesgo de degradación térmica de los glucosinolatos.	• Necesita optimización de parámetros específicos. • Requiere equipo de ultrasonido adecuado.
	Fitoesteroles	
Extracción Soxhlet	• Alta eficiencia en la extracción de todos los fitoesteroles presentes en la muestra. • Bien establecido y confiable para diversas aplicaciones.	• Puede ser un proceso largo. • Requiere grandes volúmenes de solventes. • La exposición prolongada al calor puede degradar algunos fitoesteroles.
Extracción con fluidos super críticos (SFE)	• Permite obtener fitoesteroles de alta pureza • Utiliza CO_2 supercrítico, que es amigable con el medio ambiente. • Minimiza la degradación térmica de los compuestos.	• Requiere una inversión significativa en equipos y experiencia técnica.
Extracción asistida por microondas (MAE)	• Reduce el tiempo de extracción considerablemente. • Utiliza menores volúmenes de solventes, lo que es más económico y ecológico. • Reduce la degradación térmica si se optimizan adecuadamente los parámetros.	• Necesita inversión en equipos especializados. • Requiere ajustes precisos de los parámetros de extracción.
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	• Disminuye el tiempo de extracción. • Requiere menores volúmenes de solventes.	• Requiere optimización de los parámetros de extracción.

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas
	• Minimiza la degradación térmica de los fitoesteroles.	• Necesita equipo de ultrasonido adecuado.

Fuente. Autores

Tendencias Futuras en las Técnicas de Extracción de Compuestos Bioactivos a Partir de residuos de Frutas y Verduras

La extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos de frutas y verduras representa una oportunidad tanto para la reducción de desechos como para la creación de valor agregado en productos. Sin embargo, la eficiencia y la viabilidad de la extracción dependen en gran medida de las técnicas empleadas, las cuales deben ser capaces de preservar la integridad y la actividad de los compuestos bioactivos, a la vez que sean económicamente rentables y ambientalmente sostenibles, por lo tanto, es importante tener en cuenta los estudios futuros que permitan aprovechar las diversas técnicas de extracción disponibles:

- Estudios que presten atención al desarrollo de enfoques innovadores en la valorización de los residuos de frutas y verduras, haciendo los procesos más eficientes, económicos y amigables con el medio ambiente (Lu et al., 2019).
- Estudios a niveles industriales de diferentes técnicas para la extracción de compuestos bioactivos de las semillas de diferentes residuos que incluyan campos eléctricos pulsados, extracción asistida por microondas, extracción con fluidos presurizados, solventes eutécticos profundos y extracción asistida por alta presión, técnicas que se han estudiado para residuos de la cáscara y no para las semillas (Zayed et al., 2021)

Capítulo 3. Aplicaciones de Compuestos Bioactivos Obtenidos De Residuos de Frutas y Verduras en la Elaboración de Alimentos Funcionales

Industria Cárnica

En la carne y los productos cárnicos, el crecimiento bacteriano y la oxidación de los lípidos son los principales responsables del deterioro durante el almacenamiento, procesamiento y manipulación, conllevando a la disminución de la vida útil y perjudicando su consumo ya que la oxidación afecta el sabor, el color, la textura y el valor nutricional (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022; Pateiro et al., 2021).

En la búsqueda de aumentar la vida útil de la carne y los productos cárnicos se han estudiado diferentes tecnologías de procesamiento utilizando menos tratamientos térmicos, el desarrollo de empaques novedosos y la aplicación de diferentes compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras como antioxidantes, antimicrobianos y como sustitutos de las grasas (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022).

Antioxidantes

Las reacciones de oxidación en la carne y los productos cárnicos se producen debido a factores externos como el oxígeno, la temperatura y la presión y a factores internos como el tipo de ácidos grasos, proteínas y metales (Kolev, 2022). Estas reacciones pueden controlarse con el uso de antioxidantes extraídos de residuos de frutas y verduras como los polifenoles, carotenos, xantofilas, taninos, proantocianinas y vitaminas como la vitamina E (α-tocoferol) y la vitamina C (ácido L-ascórbico); compuestos bioactivos con excelentes efectos antioxidantes por ser donantes de H+, donantes de electrones, inhibidores de la lipoxigenasa y quelantes de iones metálicos (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022; Kolev, 2022).

En los procesos de oxidación, los fosfolípidos son los primeros componentes de la carne que sufren oxidación lipídica, debido a que contienen ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, los cuales participan fácilmente en reacciones oxidativas, llevando a productos finales como el 4-hidroxinonenal (malondialdehído - MDA), que presenta propiedades citotóxicas y genotóxicas y puede potenciar la formación de adenocarcinomas y cáncer de colon (Barbieri et al., 2021; Estévez, 2021; Kolev, 2022).

De igual manera, la hemoglobina y la mioglobina son las proteínas responsables del color en la carne y los productos cárnicos, que al ser fácilmente oxidables se transforman en metahemoglobina y metamioglobina, las cuales le aportan el color marrón que en estos productos no es aceptable por los consumidores (Kolev, 2022).

Diferentes estudios como los que se puede observar en la tabla 10, han demostrado que la adición de residuos de frutas y verduras en forma de extractos o polvos con capacidad antioxidante asociada a la presencia de flavonoides, ácido ascórbico, azúcares reductores y carotenoides, han logrado ralentizar la oxidación de las proteínas de la carne, especialmente el triptófano y los residuos de lípidos altamente insaturados, logrando disponer de color durante más tiempo, inhibiendo además el desarrollo de microorganismos, y manteniendo por más tiempo los sabores y aromas, prolongando de esta manera la vida útil (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022; Domínguez et al., 2019).

Sin embargo, es importante considerar que el aumento de la vida útil en estos productos es atribuido a la utilización de antioxidantes naturales extraídos de los residuos de frutas y verduras combinados con diferentes técnicas de conservación entre las que sobresalen la refrigeración, el vacío, altas presiones, irradiación, atmósferas modificadas y el desarrollo de

envases activos con capacidad antioxidante (Cunha et al., 2018; Kumar et al., 2015; Lee et al., 2015; Moudache et al., 2016; Szabo et al., 2018).

Tabla 10

Residuos de frutas y verduras utilizados como agentes antioxidantes en carne y productos cárnicos

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración Evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
Kimchi y cáscara de cebolla	Emulsión de carne de cerdo (tipo salchicha) irradiada a 10 kGy, refrigerada durante 4 semanas	La cebolla seca en polvo se trató con etanol al 50%, se filtró y se evaporo. Los extractos se disolvieron en agua destilada para ajustar a 5 mg/ml. El polvo de kimchi se almaceno a 4ºC.	Adición 2 % de kimchi en polvo (KP) y 0,05 % de extracto de cáscara de cebolla (ECC).	Tratamientos de control: carne no irradiada sin adición de KP y ECC. T_1: carne irradiada y 0,05% ECC, T_2: carne irradiada y 2% de KP, T_3: carne irradiada y 0,05% de ECC y 2% de KP. Con todos los tratamientos se elaboró salchichas y se almacenaron a 4º C. Se evaluó pH, color, oxidación de lípidos, recuento microbiano y aspectos sensoriales, mediante análisis de varianza, prueba de Duncan ($p<0,05$), utilizando el paquete estadístico SAS.	2 % de KP y 0,05 % de ECC.	Los cambios en pH de todos los tratamientos fueron similares. La adición de KP aumentó el enrojecimiento y el color amarillento de la salchicha. La adición de ECC disminuyó el valor de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico. El valor de nitrógeno básico volátil de la salchicha con KP fue el más alto, mientras que el de la salchicha con ECC fue el más bajo. Utilizar KP y ECC, disminuye la oxidación de lípidos que aumenta por el efecto de la irradiación (10 kGy).	Lee et al (2015).
Kimchi	Carne de cerdo cruda molida refrigerada	El kimchi se fermento durante 14 días (antioxidante optimo), luego se secaron mediante liofilización y se molieron hasta tamaño <0,5 mm. El polvo se sometió al etanol al 75% a 20 °C por 24 h, se filtró y se evaporo a 50 °C. Para su uso los extractos se disolvieron en agua destilada.	1 g/kg de extractos etanólicos de kimchi.	Diseño factorial 7 x 5 con tres repeticiones para datos de almacenamiento (pH, color, TBARS, porcentaje de MetMb, análisis microbiológico), con tratamiento y tiempo de almacenamiento como parámetros principales, utilizando varianza de dos vías (ANOVA), prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$), análisis de componentes principales (PCA), mediante paquete de software XLSTAT-Premium versión 19.4.	1 g/kg de extractos etanólicos de kimchi.	Aumento de valores de metamioglobina (MetMb), sustancia reactiva del ácido tiobarbitúrico (TBARS) y recuento bacteriano total (TBC) en todas las muestras de carne después del almacenamiento. Valores de pH, luminosidad y enrojecimiento tendieron a disminuir con el aumento del tiempo de almacenamiento. Los extractos de etanol de kimchi protegieron la carne de cerdo molida cruda de la oxidación de lípidos.	Lee et al (2019).
Cáscara de Pitaya	Hamburguesas de cerdo molidas	Se obtuvo extracto de cascara de pitaya utilizando etanol	Antioxidantes micro encapsulados	5 tratamientos: Control negativo: Hamburguesa no tratada con antioxidantes ni presurizada,	No se especifica dosis óptimas	Los AME a 100 y 1000 ppm y retrasaron los procesos oxidativos de las proteínas en	Cunha et al (2018).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración Evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
	sometidas a altas presiones (500 MPa durante 10 min) almacenadas a 4 °C	(40:60, v/v), la extracción se realizó con horno microondas (400W X 30 s). Para la microencapsulación se utilizó malto dextrina proporción 1:0,5 (malto dextrina: sólidos totales de los extractos) y mediante secado por aspersión se obtuvo el polvo de extracto.	(AME) (100 y 1000 ppm), 49,5 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de microcápsulas.	Control negativo presurizado: carne molida presurizada + 0,45 g maltodextrina, Control positivo presurizado: carne molida presurizada + 0,45 g maltodextrina + 100 ppm de AME, Pitaya 1: carne molida presurizada + 100 ppm de AME 2: carne molida presurizada + 1000 ppm de AME. En hamburguesas se evaluó la composición aproximada, pH, parámetros de color instrumentales, análisis del perfil de textura, oxidación de lípidos y oxidación de proteína, mediante ANOVA unidireccional y prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando software XLSTAT.		aproximadamente un 30% en comparación con el tratamiento sin antioxidantes, minimizando los cambios de textura durante el almacenamiento. El efecto fue similar al tratamiento con el antioxidante sintético butil hidroxitolueno (BHT)	
Alcachofa	Hamburguesas de carne cruda almacenadas en refrigeración.	Los residuos se secaron (12% de humedad) y se molieron hasta tamaño de partícula de 0,65 mm. La extracción se realizó con etanol (80% v/v), se filtró y concentro en rota evaporador (45°C).	27,3 mg de polifenoles (apigenina, luteolina y derivados del ácido clorogénico) /100 g de carne.	Carne de res, T_1: Control: sin antioxidantes, T_2: 27,3 mg de fenólicos AE/100 g de carne (optimizado con superficie de respuestas), T_3: 10 mg de BHT/100 g carne. Se evaluó durante el almacenamiento: contenido fenólico total, actividad eliminadora de radicales 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo, valores de color, contenido de hierro, productos de oxidación primaria y secundaria y oxidación de proteínas, replicando dos veces. La superficie de respuesta se evaluó con Design Expert 7.0, los datos de almacenamiento mediante ANOVA y pruebas de Duncan ($p<0,05$), mediante SPSS para Windows (v. 15.0).	27,3 mg de polifenoles /100 g de carne.	Reduce la producción de hidroperóxidos (15%), carbonilos (40%) y aldehídos insaturados (26%), comparado con el BHT (10 mg/100 g de carne) en el día 7 de almacenamiento. Adición de 27,3 mg de polifenoles /100 g de carne, es suficiente para proteger las hamburguesas de carne cruda contra el deterioro oxidativo durante períodos más largos que el BHT.	Ergezer & Serdaroğlu (2018).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración Evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
Cáscaras de jabuticaba (fruta brasileña)	Salchichas frescas de cerdo refrigeradas durante 15 días	Para la extracción se utiliza agua proporción 1:3 (residuo: agua), en ausencia de luz y con agitación por 6 h, se filtra y el extracto se concentra a 1/3 de su volumen con un rotavapor (60ºC). El extracto obtenido es mezclado con maltodextrina y se microencapsula mediante secado por aspersión.	Extractos acuosos de cáscaras y semillas microencapsulado (ECSM) al 2% y 4%.	Diseño de bloques al azar, T_1: Control: salchicha fresca sin adición de pigmento, T_2: salchicha fresca + pigmento carmín de cochinilla, T_3: salchicha fresca + 2% de ECSM, T_4: salchicha fresca + 4% de ECSM, replicado tres veces evaluando características fisicoquímicas de almacenamiento (1, 4, 8, 11 y 15 días), utilizando prueba de Tukey ($p<0,05$) y SAS® proc mixto (SAS v.9.1.3).	Extractos acuosos de cáscaras y semillas microencapsulado al 2%	La oxidación lipídica disminuyo a 0,01 y 0,02 mg de malondialdehído/kg frente a 0,60 mg de malondialdehído/kg de la muestra de control. La adición de 4% de extracto influyó negativamente el color, textura y aceptación general. La adición de 2% de ECSM podría considerarse como un reemplazo del carmín de cochinilla para satisfacer la demanda de nuevos pigmentos naturales de bajo costo.	Baldin et al (2016).
Flores masculinas de plátano	Salchichas en almacenamiento refrigerado durante 28 días.	Las flores masculinas se secaron (55°C por 24 h) y se molieron hasta tamaño de 1mm. Los extractos se prepararon con etanol 70% (v/v) por 24 h, se filtraron y se secaron mediante liofilización.	Extractos de flores masculinas de plátano (EFMP) en concentraciones de 0,5, 1, 1,5 y 2%	Se realizaron cinco tratamientos de formulación de salchichas con EFMP (0, 0,5, 1, 1,5 y 2%), evaluando características fisicoquímicas, oxidativas y sensoriales de las salchichas en almacenamiento (1, 7, 14, 21 y 28 días) y se replicaron cuatro veces. Los datos se analizaron con ANOVA y prueba de Tukey ($p<0,05$) utilizando el programa estadístico SPSS.	Extractos de flores masculinas de plátano al 2%.	Actividad antioxidante efectiva en el control de la oxidación de lípidos durante Almacenamiento. No se presentaron cambios importantes en los parámetros de pH, aw y color. La calidad sensorial del producto no se vio afectada por la adición de hasta un 2 % de EFMP.	Rodrigues et al (2020).
Hoja de plátano	Filete de trucha arco iris	Se mezclaron 2 g de polvo de hoja de plátano con 20 ml de etanol (70%) (40 °C por 24 h), se filtraron y se pasaron a evaporador (<50°C).	Extracto de hoja de plátano (EHP). No se especifica cantidad utilizada.	Los filetes de trucha se dividieron en grupos: Grupo 1: se empaco en bolsa plástica, Grupo 2: se empaco con EHP. Todos los experimentos se repitieron por triplicado. El análisis estático se realizó mediante análisis de varianza unidireccional ANOVA ($p<0,05$) utilizando software SPSS 21.0.	No se especifica dosis óptimas	El extracto inhibió con éxito la oxidación de lípidos en el filete de pescado durante la congelación en comparación con filete de trucha congelarlo en bolsas de plástico durante 40 días	Ahmadi et al (2019).
Orujo de arándanos	Hamburguesas de cerdo cocidas	Los orujos se liofilizaron y se molieron finamente.	1% y 2% de polvo liofilizado de orujo de	Las muestras de carne se trabajaron así: T_1: control: sin ninguna adición, T_2: control con ácido ascórbico (0,3%), T_3: con	2% de PLOA/ peso hamburguesa	Disminución de los compuestos orgánicos volátiles (hexanal, nonanal, otros aldehídos y cetonas	Peiretti et al (2020).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración Evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
	almacenadas en refrigeración.		arándanos (PLOA)/ peso hamburguesa	la adición de 1% de PLOA y T_4: con la adición de 2% de PLOA. Se elaboraron las hamburguesas y se refrigeraron (4 ± 1°C) por 1, 3 y 7 días. Se realizaron tres réplicas, evaluando la aceptabilidad general (color, textura y sabor), mediante varianza de dos vías y prueba HSD-Tukey ($p < 0,05$), utilizando software SPSS (versión 11.5.1 para Windows).		volátiles) lo que indica un retraso en la oxidación de los lípidos. Se mejoró la consistencia y jugosidad de los productos debido a un aumento en la capacidad de retención de agua.	
Hojas de olivo irradiadas a 10 kGy	Carne picada	Las hojas de olivo se secaron (45°C por 72 h), se molieron y se irradiaron (0, 5, 10 y 15 kGy). La extracción se realizó con etanol al 50 % (1:10 p/v), se filtró y se eliminó solvente (rotavapor 45°C bajo presión) y se concentró el extracto (1ml= 35 mg de componentes fenólicos).	2 a 3 mL de extracto de hoja de olivo (EHO)/100 g de carne	Carne picada irradiada (10 kGy) en cada grupo. G_1: Control, G_2: 1 ml de EHO (35 mg de componentes fenólicos), G_3: 2 ml de EHO y G_4: 3 ml de EHO, se almacenaron (5°C) y se analizaron actividades antioxidantes y antimicrobianas utilizando ANOVA ($p < 0,05$).	3 mL de extracto de hoja de olivo (EHO)/100 g de carne	El valor de TBAR (sustancias reactivas) se redujo en un 58 % al agregar un 5 % de extracto de hojas de olivo durante seis días. La adición de extracto de hojas de olivo no influyó negativamente en la aceptabilidad general y el amargor del producto. La vida útil de la carne picada se aumentó de 1 semana a 3 y 4 semanas en almacenamiento refrigerado utilizando. 2 y 3 ml de EHO a 100 g de carne picada.	Shalaby et al (2018).
Hoja de olivo	Salchicha fermentada seca turca	El extracto de hoja de olivo se obtuvo comercialmente de Nurbal Gıda San. Tic. Ltd. Şti. (Istanbul, Turquía).	125, 250 y 500 ppm de extracto de hoja de olivo (EHO).	El estudio realizó dos réplicas, con dos muestras para cada tratamiento (salchichas con 0. 125, 250 y 500 ppm de EHO), evaluando propiedades físicas, químicas y microbiológicas, mediante análisis ANOVA y rango múltiple de Duncan ($p<0,05$).	500 ppm de EHO.	Reducción del nivel de ácidos grasos libres y ácido tiobarbitúrico en los últimos días de maduración y durante el almacenamiento.	Kurt y Ceylan (2017).
Hoja de olivo y piel de avellana	Nuggets de pollo.	Los extractos de hoja de olivo se adquirieron en forma de polvo fino. Las pieles de avellana se secaron y tamizaron	Extracto de hoja de olivo (EHO) y piel de avellana (PA). No se especifica	Se realizado un diseño factorial completo. M_1: Nuggets recubiertos con una matriz a base de alginato de sodio y cloruro de calcio + EHO + PA, M_2: EHO + PA, agregados directamente al	No se especifica dosis óptimas	Después de 21 días de almacenamiento refrigerado los valores de TBAR (sustancias reactivas) para las muestras a las que se agregaron directamente	Ozvural (2019).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración Evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
		en tamaño 1mm. Los recubrimientos se prepararon utilizando alginato de sodio (1,5%, p/v), glicerol (1%, p/v) y cloruro de calcio (1,5%, p/v) obteniendo un material de recubrimiento gelificado.	cantidad utilizada.	Nuggets, C_1: control$_1$: Nuggets sin ningún aditivo, C_2: control $_2$: Nuggets + base de alginato de sodio y cloruro de calcio. Los Nuggets fueron refrigerados (4°C) o congelados (-18°C) durante 21 días y 90 días, evaluando contenido de humedad (%), pH, estado antioxidante (TBARS), color y recuento microbiano, analizando los datos mediante ANOVA y usando Minitab (Versión 16).		extracto de hoja de olivo y piel de avellana fueron más bajos que aquellos con recubrimientos de extracto de hoja de olivo y piel de avellana. Para las muestras congeladas se encontró que ambos tratamientos eran capaces de reducir la oxidación de lípidos aún más que el control.	

Fuente. Autores

Antimicrobianos

Debido a su alto contenido en agua, proteínas y lípidos, la carne y los productos cárnicos son muy atacados por microorganismos tanto patógenos como de descomposición, disminuyendo la calidad, el aspecto nutricional y por ende la vida útil de los productos. Sin embargo, el uso de conservantes naturales como los polifenoles, compuestos de azufre, aldehídos y terpenos, entre otros, junto con diversas tecnologías de envasado han permitido frenar este tipo de problemas (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022).

La capacidad de los compuestos polifenoles, los compuestos azufrados y los ácidos orgánicos que se encuentran en los residuos de frutas y verduras para actuar como antimicrobianos se debe a su capacidad para interactuar con la pared celular y la membrana celular bacteriana aumentando su permeabilidad, previenen y controlan la formación de biopelículas al disminuir el mecanismo adhesivo, además, logran inhibir las enzimas microbianas, interfieren en la regulación de proteínas y privan a las enzimas de las células bacterianas de sustratos e iones metálicos (Papuc et al., 2017).

Existen dos maneras de determinar el efecto antimicrobiano de un compuesto bioactivo agregado a la carne y a los productos cárnicos; la primera es utilizar la inoculación de una cantidad del microorganismo de interés y realizar la cuantificación de su crecimiento o una segunda manera es el cuantificar las bases nitrogenadas volátiles generadas por la actividad proteolítica de los microorganismos al generar compuestos nitrogenados cuando descomponen una proteína (Juraj et al., 2017).

Como se puede observar en la tabla 11, el utilizar compuestos bioactivos con capacidades antimicrobianas en productos cárnicos combinados con diferentes tratamientos de conservación, ha permitido reducir los recuentos de bacterias mesófilas aerobias, *Enterobacteriaceae* y

Pseudomonas sp y han mostrado buenos resultados de inhibición de *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli* O157:H7 y otras cepas bacterianas, datos que refuerzan la posibilidad de utilizar estos compuestos bioactivos como sustitutos de conservantes sintéticos, tendencia creciente que requiere investigar concentraciones efectivas para mantener las propiedades sensoriales y tecnológicas (Baldin et al., 2016; Gonçalves et al., 2021; Kumar et al., 2015; Lee et al., 2019, 2015; Shalaby et al., 2018).

Sustitutos de la Grasa

En los productos cárnicos, la grasa juega un papel importante en la textura, apariencia, jugosidad, sabor y dureza contribuyendo así con la textura y aspectos sensoriales. Reducir la grasa en estos productos puede ocasionar colores oscuros y menos agradables debido a las reacciones entre carbohidratos de los sustitutos de la grasa y los aminoácidos de la carne; además, se puede presentar una desestabilidad de las emulsiones cárnicas ya que la grasa actúa como estabilizador de las redes tridimensionales de las (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022).

Como miméticos o sustitutos de la grasa se estudian actualmente compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras como el uso de pectinas, fibras insolubles y almidones, componentes que tienen la capacidad de retener agua, formar geles y redes tridimensionales, estabilizar emulsiones, proporcionar viscosidad y adhesividad; sin embargo, pese a estas bondades como se puede apreciar en la tabla 12, según el nivel de sustitución trabajado se pueden presentar problemas que se deben resolver como el aumento de la dureza y cohesividad, disminución en el tamaño y modificaciones de color y perfil sensorial (Dos Santos et al., 2016; Namir et al., 2015; Rather et al., 2015; Selani et al., 2016).

Tabla 11

Residuos de frutas y verduras utilizados como agente antimicrobiano en carne y productos cárnicos

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
Kimchi	Carne de cerdo cruda molida refrigerada	El kimchi se fermento durante 14 días (antioxidante optimo), luego se secaron mediante liofilización y se molieron hasta tamaño <0,5 mm. El polvo se sometió al etanol al 75% a 20 °C por 24 h, se filtró y se evaporo a 50 °C. Para su uso los extractos se disolvieron en agua destilada.	1 g/kg de extractos etanólicos de kimchi.	Diseño factorial 7 x 5 con tres repeticiones para datos de almacenamiento (pH, color, TBARS, porcentaje de MetMb, análisis microbiológico), con tratamiento y tiempo de almacenamiento como parámetros principales, utilizando varianza de dos vías (ANOVA), prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$), análisis de componentes principales (PCA), mediante paquete de software XLSTAT-Premium versión 19.4.	1 g/kg de extractos etanólicos de kimchi.	El extracto de kimchi fue eficaz para reducir el recuento bacteriano total en la carne de cerdo almacenada y presentaron una marcada actividad antibacteriana contra *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella Typhimurium.*	Lee et al (2019).
kimchi y cáscara de cebolla	Emulsión de carne de cerdo (tipo salchicha) irradiada (10 kGy), refrigerada durante 4 semanas	La cebolla seca en polvo se trató con etanol al 50%, se filtró y se evaporo. Los extractos se disolvieron en agua destilada para ajustar a 5 mg/ml. El polvo de kimchi se almaceno a 4ºC.	Adición 2 % de kimchi en polvo (KP) y 0,05 % de extracto de cáscara de cebolla (ECC).	Tratamientos de control: carne no irradiada sin adición de KP y ECC. T_1: carne irradiada y 0,05% ECC, T_2: carne irradiada y 2% de KP, T_3: carne irradiada y 0,05% de ECC y 2% de KP. Con todos los tratamientos se elaboró salchichas y se almacenaron a 4º C. Se evaluó pH, color, oxidación de lípidos, recuento microbiano y aspectos sensoriales, mediante análisis de varianza, prueba de Duncan ($p<0,05$), utilizando el paquete estadístico SAS.	2 % de KP y 0,05 % de ECC.	Las salchichas elaboradas con carne irradiada mostraron recuentos bacterianos más bajos que las salchichas con carne no irradiada. El tratamiento sin kimchi en polvo ni extracto de cáscara de cebolla y los tratamientos preparados con extracto de cáscara de cebolla mostraron poblaciones microbianas más bajas que otro tratamiento.	Lee et al (2015).
Hojas de olivo irradiadas a 10 kGy	Carne picada	Las hojas de olivo se secaron (45°C por 72 h), se molieron y se irradiaron (0, 5, 10 y 15 kGy). La extracción se realizó con etanol al 50 %	2 a 3 mL de extracto de hoja de olivo (EHO)/100 g de carne	Carne picada irradiada (10 kGy) en cada grupo. G_1: Control, G_2: 1 ml de EHO (35 mg de componentes fenólicos), G_3: 2 ml de EHO y G_4: 3 ml de EHO, se almacenaron (5°C) y se analizaron actividades	3 mL de EHO/100 g de carne	Mayor efecto antimicrobiano contra *Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Escherichia coli, Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella typhumurium*.	Shalaby et al (2018).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		(1:10 p/v), se filtró y se eliminó solvente (rotavapor 45°C bajo presión) y se concentró el extracto (1ml= 35 mg de componentes fenólicos).		antioxidantes y antimicrobianas utilizando ANOVA ($p < 0,05$).			
Hoja de olivo	Salchicha fermentada seca turca	El extracto de hoja de olivo se obtuvo comercialmente de Nurbal Gıda San. Tic. Ltd. Şti. (Istanbul, Turquía).	125, 250 y 500 ppm de extracto de hoja de olivo (EHO).	El estudio realizó dos réplicas, con dos muestras para cada tratamiento (salchichas con 0. 125, 250 y 500 ppm de EHO), evaluando propiedades físicas, químicas y microbiológicas, mediante análisis ANOVA y rango múltiple de Duncan ($p<0,05$).	500 ppm de EHO.	Reducción del recuento de bacterias ácido lácticas y de bacterias mesófilas aeróbicas totales durante el almacenamiento.	Kurt y Ceylan (2017).
Hoja de olivo y piel de avellana	Nuggets de pollo.	Los extractos de hoja de olivo se adquirieron en forma de polvo fino. Las pieles de avellana se secaron y tamizaron en tamaño 1mm. Los recubrimientos se prepararon utilizando alginato de sodio (1,5%, p/v), glicerol (1%, p/v) y cloruro de calcio (1,5%, p/v) obteniendo un material de recubrimiento gelificado.	Extracto de hoja de olivo (EHO) y piel de avellana (PA). No se especifica cantidad utilizada.	Se realizado un diseño factorial completo. M_1: Nuggets recubiertos con una matriz a base de alginato de sodio y cloruro de calcio + EHO + PA, M_2: EHO + PA, agregados directamente al Nuggets, C_1: control$_1$: Nuggets sin ningún aditivo, C_2: control $_2$: Nuggets + base de alginato de sodio y cloruro de calcio. Los Nuggets fueron refrigerados (4°C) o congelados (-18°C) durante 21 días y 90 días, evaluando contenido de humedad (%), pH, estado antioxidante (TBARS), color y recuento microbiano, analizando los datos mediante ANOVA y usando Minitab (Versión 16).	No se especifica dosis óptimas	Después de 21 días de almacenamiento refrigerado se encontró que el número total de bacterias mesófilas y psicrófilas fue más bajo en muestras a las que se añadió directamente piel de avellana. En muestras congeladas ambos tratamientos fueron capaces de reducir el crecimiento bacteriano.	Ozvural, (2019).
Cáscara de granada	Albóndigas en almacenamiento (4 ± 1 °C) durante 15 días	La cáscara de granada liofilizada fue molida (100 -150 µm), se trituraron utilizando molino de bolas hasta lograr micro	Nanopartículas liofilizadas de cáscara de granada (NLCG) al 1 y 1,5%	Las albóndigas (20 g) se dividieron en: C_1: sin ningún antioxidante, T_1: con 0,01% de BHT, T_2: con 1% de NLCG y T_3: con 1,5% de NLCG. Se evaluó efecto antioxidante y	1,5% de NLCG	La carga microbiana de las muestras tratadas con NLCG fue menor que la del control durante el almacenamiento, posiblemente por el contenido de taninos y otros fenólicos	Morsy et al (2018).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		partículas de 100-150 µm y se tamizaron hasta 80 ± 5 nm.		antimicrobiano los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días de almacenamiento, mediante ANOVA y prueba de comparación múltiple de Duncan ($p < 0,05$) utilizando software SPSS (versión 18).		que tienen actividad antioxidante y antimicrobiana	
Espino amarillo y semilla de uva	Hamburguesas de cerdo en condiciones aeróbicas y empacadas en atmosferas modificadas (AM) (50 % CO_2: 50 % N_2) a 4 ± 1 °C durante 35 días de almacenamiento	Las semillas de espino secas, se pulverizan (60-80 mallas), luego se mezclaron con metanol (60%) durante toda la noche. El extracto se filtró y se evaporo (rotavapor 55°C, 100 rpm, 20 – 25 min). El extracto de semillas de uva se adquirio de Ambe Phytoextracts Pvt. Limitado. Ltd. Nueva Delhi, India.	0,3 % de extracto de espino amarillo (EEA) + 0,1 % de extracto de semilla de uva (ESU).	T_1: control aeróbico empaquetado, T_2: paquete aeróbico + 0,3 % EEA + 0,1 % ESU, T_3: control empaquetado AM y T_4: AM empaquetado + 0,3 % EEA + 0,1 % ESU, a 4 ± 1 °C durante 35 días. Las muestras se extrajeron con un intervalo de 7 días, evaluando propiedades fisicoquímicas, estabilidad oxidativa, color y textura instrumental, sensoriales y microbiológicas. Tomando muestras duplicadas y se repitió 3 veces, mediante ANOVA bidireccional y rangos múltiples de Duncan ($p<0,05$), utilizando software SPSS-20.	0,3 % de EEA + 0,1 % de ESU.	El recuento en placa estándar, los psicrófilos y los coliformes fueron más bajos en los productos tratados que en el control y el recuento microbiano se mantuvo mejor en las muestras empacadas en atmosferas modificadas que en la condición aeróbica.	Kumar et al (2015).
Cáscaras de Jaboticaba (fruta brasileña)	Salchichas frescas de cerdo refrigeradas durante 15 días	Para la extracción se utiliza agua proporción 1:3 (residuo: agua), en ausencia de luz y con agitación por 6 h, se filtra y el extracto se concentra a 1/3 de su volumen con un rotavapor (60ºC). El extracto obtenido es mezclado con maltodextrina y se microencapsula mediante secado por aspersión.	Extractos acuosos de cáscaras y semillas microencapsulado (ECSM) al 2% y 4%.	Diseño de bloques al azar, T_1: Control: salchicha fresca sin adición de pigmento, T_2: salchicha fresca + pigmento carmín de cochinilla, T_3: salchicha fresca + 2% de ECSM, T_4: salchicha fresca + 4% de ECSM, replicado tres veces evaluando características fisicoquímicas de almacenamiento (1, 4, 8, 11 y 15 días), utilizando prueba de Tukey ($p<0,05$) y SAS® proc mixto (SAS v.9.1.3).	Extractos acuosos de cáscaras y semillas microencapsulado al 2%	Gran potencial antimicrobiano atribuido a las antocianinas, sobre bacterias Gram positivas y Gram negativas. La concentración mínima inhibidora para el extracto microencapsulado fue: 18,75 g/L (~2%) tanto para *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 como para *Escherichia coli* ATCC 25922.	Baldin et al (2016).

Fuente. Autores

Tabla 12

Residuos de frutas y verduras utilizados como sustituto de la grasa en productos cárnicos

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
Orujo de tomate (piel, semillas y material fibroso)	Hamburguesas de ternera bajas en grasa	La extracción de pectina se realizó con etanol a pH: 2,2 a proporción en desechos frescos (4:1 1 v/p) y desechos deshidratados (7:1 v/p) a 42 ºC por 24 h, se filtró y se lavó con etanol (70 % y 95 %), se lavó con acetona, se secó (50 ºC) y se molió y tamizo para tamaño partícula 0,5 mm.	Pectina de tomate como reemplazo de grasa en niveles del 12,5% 25% 37,5% y 50%.	Control: carne molida ajustada a 20% de grasa, Lotes con diferentes niveles de sustitución (12.5 % 25 % 37.5 % y 50 %), evaluando propiedades fisicoquímicas y funcionales utilizando ANOVA unidireccional y prueba de Duncan ($p < 0,05$).	Pectina de tomate como reemplazo de grasa en niveles del 12,5% y 25%.	La pectina de tomate presentó: capacidad de hinchamiento de 4,50 mL/g, capacidad de retención de agua de 3,57 mL/g y una capacidad de retención de aceite de 2,65 mL/g. La hamburguesa mostró una disminución en la pérdida por cocción y en la reducción del diámetro. Las muestras con niveles de reemplazo de grasa de 12,5% y 25 % de pectina de tomate tuvieron la mayor aceptación.	Namir et al (2015).
Orujo de manzana	Carne molida emulsionada tipo Goshtaba bajas en grasa	El polvo de orujo de manzana se obtuvo de la industria frutícola JKHPMC Sopore, J & K, India.	Polvo de orujo de manzana (POM) como sustituto de grasa en diferentes niveles (1–5 %)	Carne y grasa triturada, estudiando nivel de grasa (10 o 20 %). y la adición de POM (0, 1, 3 y 5 %). Lote 1: con 20% grasa, Lote 2: con 10% grasa. Otros lotes con niveles 1 % (T1), 3 % (T2) y 5 % (T3) de POM y 10% de tocino. Con ellos se obtuvo Goshtaba. Se realizó análisis físico-químicos, de textura y sensoriales. Los valores medios, desviación estándar y ANOVA ($p < 0,05$) se calcularon utilizando SPSS 16.	POM como sustituto de grasa entre el 1–3%.	Aumento de proteína, humedad y cenizas, disminución de grasa. Sustitución parcial de grasa por pectina (1–5%) mejora retención de agua, evita cambios en diámetro y oxidación de lípidos. Las formulaciones con una reducción del 50% en grasa y 1 y 3% de contenido de fibra presentaron características sensoriales y de textura similares al producto con 100% de grasa.	Rather et al (2015).
Subproductos de la piña	Hamburguesas de ternera bajas en grasa	La cascara y orujo de piña se liofilizaron, molieron, tamizaron (420 µm) y se almacenaron a (-18 ºC). Antes del procesamiento se	Polvo de piña (PA) como sustituto de la grasa al 1,5%	Cinco tratamientos: CN: con 20% grasa y cuatro bajos en grasa: CT: con 10% grasa, PS: con 1,5% de PA, CO: con 0,5% aceite de canola y PC: con 1,5% de PA y 0,5% aceite de canola. Se elaboró hamburguesa,	1,5 % de PA como sustituto de la grasa	Cambió el color (escala roja) y bajo el pH (6,20 a 5,97) en comparación con el control 100% grasa, efectos que desaparecieron con la cocción.	Selani et al (2016).

Residuo	Producto cárnico	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		sometieron a un tratamiento térmico (100 ºC por 2 h) para inactivar la bromelina.		evaluando la sustitución de grasa en términos fisicoquímicos y sensoriales, mediante diseño de bloques al azar, analizando ANOVA y prueba de Tukey ($p<0.05$), utilizando el software SAS.		El alto contenido de fibra presente en el residuo de piña, evitó la pérdida de agua y aceite de cocina hasta en un 71,5%, con una menor reducción del diámetro de hasta un 68,1% en comparación con el control.	
Plátano verde	Embutidos tipo Bolonia	Las rodajas de plátano se secaron (60 ºC por 12 h), se trituraron (250 μm) y se almacenaron a 4 °C en un recipiente sellado.	Mezcla de piel de cerdo, agua y harina de plátano verde en proporciones. (1:2:2)	Seis lotes: control con 20% grasa y cinco tratamientos reemplazando 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de grasa de cerdo por una mezcla de piel, agua y harina de plátano verde (1:2:2). Se evaluó propiedades fisicoquímicas, tecnológicas, microbiológicas y sensoriales, mediante diseño de bloques completos al azar y usando ANOVA y pruebas de Tukey ($p<0.05$).	Mezcla de piel de cerdo, agua y harina de plátano verde en proporciones. (1:2:2)	Disminuyen los contenidos de grasa, pero aumentaron los niveles de humedad, almidón resistente y cenizas. Menores pérdidas por cocción y mayor estabilidad de la emulsión. La sustitución de hasta 60% de grasa no influyó sobre el color, la textura y la aceptabilidad sensorial.	Dos Santos Alves et al (2016).

Fuente. Autores

Industria Láctea

En la actualidad, el desarrollo de nuevos productos funcionales en la industria láctea se ha enfocado en la reducción o cambio de algún componente de la materia prima (leche) y en la adición de compuestos bioactivos como prebióticos, antioxidantes, micronutrientes y ácidos grasos insaturados como el omega-3, utilizando para ello la estrategia de la adición directa o la encapsulación del compuesto (Villamil et al., 2020).

La incorporación directa se ha realizado mediante el uso de polvo liofilizado de probióticos y prebióticos como oligosacáridos e inulina en la elaboración de yogur, queso, mantequilla y helados o utilizando la deshidratación y molienda mecánica como en el caso de la incorporación de fibra dietética extraída de residuos de frutas y verduras en la elaboración de yogur, queso y leche (Comunian et al., 2017; Heap et al., 2016; Mohammadi-Sartang et al., 2018).

El consumo de lácteos con adición de fibra como en el caso del yogur ha demostrado efectos benéficos en la modulación de apetito y la saciedad, al igual que la adición de compuestos antioxidantes como fitoesteroles, antocianinas y taninos incorporados a matrices como el queso y yogur ha demostrado efectos en la reducción del colesterol LDL en adultos con hipercolesterolemia (Comunian et al., 2017; Heap et al., 2016).

El adicionar directamente compuestos bioactivos de interés a una matriz láctea permite una fácil reproducción en el desarrollo de derivados lácteos, sin embargo, en ocasiones se presenta problemas asociados con cambios físicos, químicos y organolépticos indeseados que modifican la calidad del producto final (Robertson et al., 2016). Por lo tanto, la mejor estrategia es la incorporación de los compuestos bioactivos a las matrices lácteas mediante la encapsulación debido a que protege el compuesto de interés al tiempo que permite conservar las

características organolépticas, aumenta la biodisponibilidad del nutriente, logrando mejores beneficios para la salud del consumidor y una mayor aceptación del producto final (Gowda et al., 2018; Santillán-Urquiza et al., 2017; Tolve et al., 2020).

La microencapsulación y la nanoencapsulación se han convertido en técnicas muy prometedoras para superar los inconvenientes de la inestabilidad de los fenoles permitiendo aumentar su biodisponibilidad y vida media y para enmascarar sabores desagradables, permitiendo una liberación controlada del encapsulado en la matriz, maximizando así sus actividades tecnológicas y biológicas. Sin embargo, la selección del proceso de microencapsulación está relacionada principalmente con la termosensibilidad y solubilidad de los compuestos bioactivos (Difonzo et al., 2021).

En la tabla 13, se puede observar el uso de diferentes residuos de frutas y verduras y su potencial como antioxidantes, antimicrobianos, prebióticos y como insumos que aumentan el contenido fenólico y de fibra en productos lácteos.

En productos lácteos con alto contenido de grasa como la mantequilla y el queso, los estudios sobre el uso de compuestos bioactivos se centran en retardar los procesos de oxidación de los lípidos (Abid et al., 2017; Mahajan et al., 2015; Sandhya et al., 2018; Trigo et al., 2020).

En cuanto a la elaboración de productos fortificados con compuestos bioactivos, las investigaciones buscan la fortificación adecuada sin que ella interfiera en la tasa de supervivencia de los microorganismos no iniciadores, iniciadores y otros microorganismos involucrados en los procesos de fermentación como los probióticos, así como también el desarrollo de prebióticos que sirvan de combustible para las bacterias probióticas, lo que, a su vez, promueve la producción de sustancias probióticas que previenen el crecimiento de bacterias

patógenas (Arioui et al., 2016; Bertolino et al., 2015; Casarotti et al., 2018; Costa et al., 2017; Mostafa, 2021; Peker & Arslan, 2017; Sah et al., 2016).

Sin embargo, la adición de residuos de frutas y verduras puede ocasionar efectos positivos o indeseables sobre la evaluación sensorial del producto, debido a: (i) dosis utilizada, (ii) presentación de compuesto bioactivo (polvo o extracto) y (iii) matriz láctea utilizada (Trigo et al., 2020).

Tabla 13

Residuos de frutas y verduras utilizados para mejorar la vida útil y propiedades funcionales en productos lácteos

Residuo	Producto Lácteo	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
Cáscaras y semillas de tomate	Mantequilla tradicional almacenada a 4 °C	Extracto con etanol, relación líquido a sólido (60/1) agitación continua 150 rpm/min durante 6 h a 25 °C, evaporación a 40 °C.	400 - 800 mg de extracto de cáscaras y semillas de tomate (ECST)/kg de mantequilla.	T_1: 200 mg ECST/Kg, T_2: 400 mg ECST/Kg y T_3: 800 mg ECST/Kg. Pruebas de estabilidad oxidativa a: 0, 20, 40 y 60 días. Se replicó 3 veces. Los resultados se analizaron con ANOVA unidireccional y Fisher LSD, con $p < 0,05$.	400 mg ECST//kg de mantequilla.	Concentraciones de 400 mg ECST/ /kg de mantequilla, inhibió considerablemente la formación de peróxido, dienos conjugados y la degradación de ácidos grasos insaturados en productos de oxidación. En concentraciones más altas se dio prooxidación.	Abid et al (2017).
Cáscara de granada	Queso de búfalo almacenado durante 28 días a 4 °C	Se utilizó extracto de cáscara de granada disponible comercialmente estandarizado al 40% de ácido elágico.	Extracto de cáscara de granada (ECG) (0, 1,0 % y 2,0 %)	Los quesos se sumergieron en ECG s (0%, 1% y 2%) durante 30 s, se escurrieron y se empaquetaron aeróbicamente. Se evaluó estabilidades oxidativas y parámetros de calidad. Los datos se analizaron mediante ANOVA de dos vías, con nivel de significancia del 5%. utilizando SPSS (versión 16.0).	Los resultados son muy similares utilizando dosis de 1,0 % y 2,0 % de ECG.	Reducción del 15% en peroxidación de lípidos (TBARS) y en un 24 % el contenido de ácidos grasos libres (relacionado con el crecimiento de microorganismos lipolíticos). Disminución del 16, 25 y 29 % en recuentos de microorganismos totales, psicrófilos y levaduras y mohos, respectivamente, en comparación con el queso no fortificado.	Mahajan et al (2015).
Cáscara de granada	Cuajada refrigerada a 5°C	Polvo de extracto de cascara: secado de cascara, extracción con etanol o agua (proporciones 1:15 y 1:60) por 4 h a 4 °C, filtrado y centrifugado, evaluación actividad antioxidante y secado y adición de	Polvo de extracto de cáscara de granada (PEG) en concentraciones de 0,5, 1 y 1,5%.	Se añadió a la leche después de pasteurizar PEG (0, 0,5, 1 y 1,5 %). Se evaluó actividad antioxidante, contenido de fenoles totales y atributos sensoriales. Los datos se analizaron mediante varianza unidireccional (ANOVA) y prueba de comparación B de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %	Polvo de extracto de cáscara de granada al 1%.	Al aumentar la concentración de PEG aumentó la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales (TPC). La cuajada con 1% de PEG mostró una actividad antioxidante considerable y atributos sensoriales aceptables. Durante el almacenamiento la cuajada mostró resistencia al aumento del recuento microbiano, al cambio de	Sandhya et al (2018).

Residuo	Producto Lácteo	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
		aditivos para evitar pedacidad.		mediante el uso del software SPSS. (ver.16)		acidez y a la sinéresis del suero. La vida útil de la cuajada aumentó en 6 días en comparación con la muestra de control a 5°C.	
Pequi (nuez souari)	Queso Minas Frescal de cabra	Extracto liquido mediante extracción asistida por microondas: extracto de solución acuosa etanol 94% (vol/vol), potencia de microondas de 670 W durante 110 s, se concentró y se diluyo a 6,25 ml/L (óptimo para *Escherichia coli*).	6,25 mL de extracto de pequi (EP)/L leche pasteurizada	T_1: Queso control (sin extracto), T_2: Queso con extracto añadido a la leche, T3: Adición de extracto a la masa y T4: Inmersión queso en exacto. Respuestas: Ensayos microbiológicos, textural y color instrumental. Los datos fueron sometidos a ANOVA y prueba de Tukey con $p < 0,05$.	6,25 mL de extracto de pequi/L leche pasteurizada	El queso con EP añadido a leche fue el más estable en cuanto a parámetros bacteriológicos, texturales y de color instrumentales. Se observó un menor efecto del extracto sobre el cultivo láctico, lo cual es deseable. El tratamiento con EP añadido a leche presentó la mejor firmeza y consistencia durante todo el período de almacenamiento.	Moreira et al (2019).
Pieles de avellanas	Yogur durante 3 semanas de almacenamiento a 4 °C	Las pieles de avellana se molieron y tamizaron para obtener una fracción de partículas de 0,5 mm y se almacenaron a 4°C	Polvo de pieles de avellana (PPA) al 3% - 6%	Se agregó al yogur PPA (0%, 3% y 6%) y se realizó seguimiento los días 1, 7, 14 y 21 de almacenamiento (4 °C), evaluaron características físico-químicas, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, contenido de azúcares y ácidos orgánicos y prueba de preferencia. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Duncan, utilizando el software STATISTICA (Versión 7.0).	Polvo de pieles de avellana al 6%	La capacidad de eliminación de radicales DPPH y el contenido de fenoles totales (TPC) de los yogures suplementados (3000 mg/100 g) aumentaron, en 96% y 31 %, respectivamente, en comparación con el control. La fibra dietética total aumentó desde niveles indetectables a 9,5 g/100 g en yogures fortificados. Los valores más altos para todos los productos los presentó un contenido de piel de avellana del 6%.	Bertolino et al (2015).
Residuos de jugo de uva	Helados durante 40 días de almacenamiento	El jugo centrifugado fue secado a 50 °C por 32 h, luego se trituro en polvo fino y se almaceno	Polvo de residuos de jugo de uva (RJU) al 2,5%, 5% y 10%	Helado con RJU (0%, 2,5%, 5,0% y 10,0% p/p). Se analizó composición química, color, compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y aceptación	Polvo de residuos de jugo de uva al 10%	Mayor concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en comparación con las muestras de control. Con dosis de jugo de uva en polvo de 2500 a	Vital et al (2018).

Residuo	Producto Lácteo	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
		a 25 °C, protegido de la luz.		sensorial de los helados, mediante ANOVA y Prueba de Tukey. Cada medición se realizó por triplicado.		10000 mg/100 g, el contenido de fenoles totales (TPC) mejoró 4,6 y 11,7 veces, respectivamente. La aceptación de los consumidores fue similar para todos los productos.	
Subproductos de guayaba, naranja y maracuyá	Leche de cabra fermentada con probióticos y productos fermentados a base de cereales.	Los residuos se secaron a 60 °C y se molieron a tamaño de partícula < 42 µm , luego se irradiaron con una dosis de 5 kGy y se almacenaron a 4 °C.	Polvo al 1% de subproductos de frutas (guayaba, naranja y maracuyá) (RGNM)	Sustrato 1: bebida de avena fermentada, Sustrato 2: bebida de arroz fermentada y Sustrato 3: Leche de cabra fermentada, cada uno con tres tratamientos adicionando 0% y 1% de RGNM. Se evaluó la cinética de fermentación. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza unidireccional seguido de la prueba de Tukey en p <0,05 para comparar medias.	Polvo al 1% de RGNM.	Los subproductos de frutas no afectaron el tiempo de fermentación de la bebida de avena ni de la leche de cabra, pero si aumento entre 0,28 y 0,91 horas en el tiempo de fermentación de las bebidas de arroz. Aumento la acidificación durante el almacenamiento; sin afectar el recuento de bacterias probióticas. Mejoro la resistencia de los probióticos a condiciones gastrointestinales simuladas, se obtuvo una población 2 log UFC/mL mayor que el tratamiento de control.	Casarotti et al (2018).
Cáscara y orujo de piña.	Yogur	La cáscara y el orujo se secaron (90 °C por 30 min), se liofilizaron y se molieron por separado hasta convertirlos en polvos de 180 µm, posteriormente se esterilizaron con irradiación UV por 30 min.	Polvo de cáscara y orujo de piña (PCOP) al 1%	Se realizaron tres experimentos elaborando yogur con 1% de PCOP (p/v), utilizando monocultivos de *L. acidophilus, L. casei y L. paracasei* al 1 %. Los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados se analizaron mediante varianza unidireccional (ANOVA), Tukey, ANOVA de dos vías, correlación de Pearson, Análisis de conglomerados jerárquicos, utilizando el SPSS. 22.0 para Windows.	Polvo de PCOP al 1%	La suplementación con piña en polvo aumento de 0,3 a 1,4 ciclos logarítmicos en las poblaciones de probióticos de los yogures. Los extractos peptídicos crudos solubles en agua de los yogures, mostraron notables actividades antioxidantes evaluadas mediante la actividad eliminadora de los radicales 1,1-difenil-2-picrilhidracilo (IC50 = 0,37–0,19 mg/mL) y radical hidroxilo (58,52–73,55 %). Mostraron actividades antimutagénicas (18,60–32,72 %) como inhibidores de la azida sódica en la prueba de mutagenicidad de *Salmonella*.	Sah et al (2016).

Residuo	Producto Lácteo	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
Piel de naranja	Yogur	La pectina se extrajo de cascara de naranja en solución ácida caliente, seguido de precipitación en una solución de alcohol etílico a 96°. El pellet obtenido se secó a 40°C durante 18 h, y se molió hasta llegar a polvo.	Pectina de cáscara de naranja de 0, 0,1, 0,3 y 0,6%	A leche reconstituida y pasteurizada se incorporó pectina en niveles de 0, 0,1, 0,3 y 0,6%, se elaboró yogur utilizando cepas *Streptococcus thermophilus* (YC-X16) y *Lactobacillus bulgaricus* (CHN-11). Cada parámetro experimental se representó en pruebas por triplicado. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron a las 2 h y 4 h durante la fermentación y semanalmente durante 21 días de almacenamiento a 4°C	Pectina de cáscara de naranja al 6%.	La pectina al 0,6% mejoró significativamente la viscosidad, adhesividad y cohesividad. La adición de pectina parece impedir la exudación del suero durante la conservación. Durante el período de fermentación se observó una mejor proliferación de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*	Arioui et al (2016).
Hoja de olivo	Yogur	Las nanoliposomas que contienen extracto de hoja de olivo, se produjeron mediante el método de inyección de etanol y utilizando fosfatidilcolina más colesterol como reactivos para el material de la pared.	Nanoliposomas de extracto de hojas de olivo al 2, 4, 6, 8 y 10 % (p. /w)	Muestra 1: 100 g yogur con 15 g de formulación de nanoliposomas (10% de fenólicos), Muestra 2: 100 g muestra de control (1,5 g de extracto fenólico sin encapsulación), muestra 3: yogur sin nanolIposomas y extracto fenólico, refrigeradas a 4 °C. Se evaluó sus características durante almacenamiento de 21 días. Los resultados se analizaron mediante ANOVA y prueba de Duncan ($p < 0,05$), utilizando el software portátil SAS 9.1.3.	Nanoliposomas de extracto de hojas de olivo al 10 % (p. /w)	La aplicación de nanoliposomas en el yogur mejoró la actividad antioxidante y, a diferencia del yogur con extracto de oliva no encapsulado, no se observaron cambios significativos en el color y los atributos sensoriales e incluso se minimizó la tasa de sinéresis.	Tavakoli et al (2018).
Hoja de olivo	Yogur de albaricoque bajo en grasa	El extracto líquido de hoja de olivo fue suministrado por Kale Naturel Herbal Products Company Ltd.	Extracto de hoja de olivo (EHO) concentraciones de 0,1, 0,2 y 0,4%, v/w.	Grupo 1: yogur con 12% de pulpa de albaricoque (control), Grupo 2: yogur con 12% de pulpa de albaricoque y 0,1% de EHO, Grupo 3: yogur con	Extracto de hoja de olivo al 0,4%, v/w.	La adición del EHO afecto el recuento de *Streptococcus thermophilus*. La capacidad de retención de agua de las muestras disminuyó	Peker y Arslan (2017).

Residuo	Producto Lácteo	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrados	Referencia
		(Edremit-Balıkesir, Turquía)		12% de pulpa de albaricoque y 0,2% de EHO y Grupo 4: yogur con 12% de pulpa de albaricoque y 0,4% de EHO. Los parámetros de calidad se determinaron los días 1, 7 y 15 de almacenamiento. Los resultados se analizaron mediante ANOVA, prueba de Duncan ($p < 0,05$), con el software SPSS (Versión 11.0).		durante el período de almacenamiento. Los valores de viscosidad de las muestras con EHO no fueron significativamente diferentes de las muestras de control excepto el día 15. El yogur que incluía un 0,4% de EHO tuvo la mayor actividad antioxidante al final del almacenamiento.	
Pulpa del plátano verde	Yogures con *Lactobacillus delbrueckii*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium bifidum* y *Lactobacillus acidophilus*		Concentraciones de pulpa de plátano verde (PPV) al 3%, 5% y 10% p/v.	Se agregó PPV (0%, 3%; 5% o 10%; p/v) en la pasteurización (65 ºC) y se elaboró yogur. Los resultados físico químicos y microbiológicos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey o prueba t de Student. Los resultados sensoriales se analizaron mediante prueba estadística no paramétrica de Friedman utilizando el software Prism 5 para windows (GraphPad Softaware).	Los datos son muy similares en las concentraciones trabajadas.	La pulpa de plátano verde agregada al yogur estimuló la multiplicación de *L. acidophilus* después del primer día de fermentación y de *B. bifidum* después de siete días de almacenamiento en frío. Los resultados muestran que PPV tiene un potencial prebiótico sin interferir ni en las características fisicoquímicas ni sensoriales.	Costa et al (2017).

Fuente. Autores

Industria Panificadora

Los productos de panadería están sujetos a presentar deterioros de tipo físico, químico y microbiológico. El deterioro físico está asociado a la pérdida de humedad y el envejecimiento, el deterioro químico debido a los procesos de rancidez y el deterioro microbiológico asociado al crecimiento de levaduras, mohos y bacterias; los cuales están influenciados por factores internos como el contenido de humedad, la actividad acuosa, el pH y la cantidad de conservante utilizado y a factores externos como la temperatura de almacenamiento, la humedad relativa, los materiales de embalaje y el ambiente gaseoso que rodea a los productos (Difonzo et al., 2021).

En la tabla 14, se encuentra un resumen de diferentes estudios desarrollados en la industria panificadora donde se utilizaron residuos de frutas y verduras. Se puede observar que la materia prima principal de los productos de panadería es la harina de trigo la cual, a pesar de ser una buena fuente de energía y nutrientes, presenta una baja actividad antioxidante ya que estos compuestos bioactivos se encuentran en la capa de salvado y aleurona, por lo tanto, la mayoría de los estudios buscan adicionar ingredientes bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras a productos como pan, pasteles, galletas, bizcochos, muffins, entre otros (Trigo et al., 2020).

Además, la forma como se trabaje los residuos de frutas y verduras (polvo, harina o extractos) pueden tener un impacto directo sobre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de los productos desarrollados; ya que por lo general el trabajar con polvo o harina de residuos aumenta significativamente el contenido de fibra dietética total (TDF), por el contrario, las concentraciones de extracto presentan valores más altos de contenidos fenólicos totales (TPC) y potencial antioxidante (ensayos FRAP y DPPH) en comparación con la dosis

más alta de polvos o harinas (Bhat & Ahsan, 2015; Difonzo et al., 2021; Isik & Yapar, 2017; Ismail et al., 2016; Trigo et al., 2020).

Los efectos positivos de incorporar compuestos bioactivos como los polifenoles incluyen el elevar la actividad antioxidante de los productos de panadería, la eliminación de toxinas generadas durante el proceso térmico y la disminución de la glucosa sérica postprandial (nivel de glucosa en sangre después de comer); sin embargo, se presentan efectos negativos como su influencia en el color, la textura y el sabor de los productos lo que hace que el nivel de sustitución de residuos de frutas y verduras deba estudiarse (Szabo et al., 2018).

La fibra dietética extraída de los residuos de frutas y verduras es utilizada en las formulaciones de diferentes productos de panadería porque cumplen funciones entre las que se destacan: (i) reducen el contenido calórico, (ii) están asociadas con cantidades significativas de compuestos fenólicos y carotenoides lo que mejora la actividad antioxidante y (iii) mejoran las funciones fisiológicas ya que los productos de panadería tienen bajo contenido de fibra (Mostafa, 2021; Quiles et al., 2018).

Generalmente, en los productos de panificación, la sustitución parcial de residuos de frutas y verduras da como resultado un aumento del contenido de fenoles totales asociados al aumento de la capacidad antioxidante y de fibra, por lo que se puede obtener de esta manera productos funcionales con valor añadido; sin embargo, los trabajos desarrollados señalan que se debe investigar la calidad sensorial de los productos alimenticios enriquecidos ya que según el nivel de reemplazo se puede obtener efectos negativos sobre los atributos sensoriales y su aceptación por parte del consumidor (Melini et al., 2020).

Tabla 14

Diferentes estudios desarrollados en la industria de panificación donde se utilizaron residuos de frutas y verduras

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
Semillas de tomate	Tarhana	Las semillas de tomate se secaron y se molieron hasta tamaño de partícula <400 µm.	Se sustituyó la harina de trigo por 15%, 25% y 35% de harina de semillas de tomate. (HST)	Control: tarhana sin HST y formulaciones donde se reemplazó harina de trigo por HST (15, 25 y 35% (p/p)), evaluando actividad antioxidante, valores de color y sensoriales, mediante ANOVA unidireccional y comparación múltiple de Tukey ($p< 0,05$) utilizando Software estadístico Minitab 13.	15% de HST, como sustituyente de harina de trigo.	Aumentaron los valores de proteína, aceite, fibra dietética insoluble, fibra dietética total, cenizas, minerales, contenido fenólicos totales y los valores de actividad antioxidante de las tarhanas. Aumentaron los contenidos de lisina, fenilalanina, treonina, serina, alanina, glicina, histidina, ácido aspártico, arginina y tirosina de las tarhanas	Isik y Yapar (2017).
Orujo de tomate	Galletas	El orujo de tomate se secó (60°C) y se molió.	Polvo de orujo de tomate (POT) al 5, 10, 15, 20 y 25%.	POT para reemplazar parte de la harina integral (0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%) en una receta de galletas estándar, evaluando actividad antioxidante, valores de color y sensoriales, datos que se registraron como medias ± desviación estándar y se compararon con pruebas de rangos múltiples de Duncan ($p <0,05$) utilizando SAS (Statistical Analysis System, versión 8.12).	5% de POT.	Aumentó el contenido de proteína cruda y cenizas de las galletas (20, 25% de polvo de orujo de tomate). Disminuyó los valores de luminosidad, pero aumentó los valores de enrojecimiento y amarillez. Los consumidores consideraron aceptables las galletas con hasta un 5% de sustitución de polvo.	Bhat y Hafiza (2015).
Cáscara de tomate	Pasta enriquecida.	Las pieles de tomate se deshidrataron mediante exposición a la luz solar y en horno (40-50°C), luego se	Harina de cáscara de tomate (HT) al 15% p/p del peso de sémola	La harina fue reemplazada por HT (10 y 15% (p/p)) y se elaboró espagueti. Se evaluó propiedades funcionales y actividad antioxidante mediante ANOVA unidimensional y prueba de rango múltiple de	Harina de cáscara de tomate al 15% p/p del peso de sémola	Altos niveles de carotenoides y fibra dietética, pero puntuaciones sensoriales de elasticidad, olor y firmeza más bajas que en el control. Fue necesario adición de hidrocoloides para mejorar la adhesividad y el volumen de la	Padalino et al (2017).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		molieron (7% de humedad).		Duncan ($p < 0,05$), utilizando Statistica 7.1 para Windows.		pasta, sin comprometer otras propiedades físicas y químicas.	
Orujo de uva	Galletas	El orujo se secó (45 - 50 ºC por 72 h), se molieron y se tamizaron hasta tamaño de harina.	Polvo de orujo de uva vinícola (POU) en niveles de 5, 10, 15 y 20 %	T_1: mezcla para galletas sin reemplazo de harina de trigo por POU y formulaciones con reemplazo: T_2: 5%, T_3: 10%, T_4: 15%, T_5: 20%. A galletas se evaluó aspectos físico-químico y sensoriales, mediante tres replicaciones de cada tratamiento y aplicando un diseño completamente al azar.	5% de POU.	Aumentó en las propiedades antioxidantes (poder antioxidante reductor férrico, el contenido total de fenoles, flavonoides y antocianinas). La adición de 5 % de polvo de orujo de uva obtuvo puntuación máxima en las pruebas organolépticas.	Maner et al (2017).
Cáscara de mango maduro.	Pan integral	Las cascaras limpias se secaron (60 ± 2 ºC por 18 h), se trituraron y se almacenaron.	Polvo de cáscara de mango maduro (PCMM) 1, 3 y 5 %	El pan se preparó con diferentes niveles de sustitución de harina por PCMM (0, 1, 3 y 5 %.), utilizando diseño completamente al azar con tres réplicas, analizando datos mediante ANOVA y prueba de rango múltiple de Duncan ($p < 0,05$).	3 g de PCMM /100 g de harina.	La mejor concentración fue: 3 g/100 g de harina. Con esta dosis, el contenido de fenoles totales (TPC) aumentó de 220 a 507 mg eq. de ácido gálico/100 g, así como la inhibición de DPPH (de 22 a 50%) y los valores de capacidad de reducción del hierro (FRAP) (de 159 a 1124 mM $FeSO_4.7H_2O$/100 g).	Pathak et al (2016).
Pulpa de mango	Muffins	La pulpa de mango se lavó y se secó (55 ± 2 ºC) hasta 5% de humedad. Luego se pulverizo (tamaño de partícula de 0,5 mm) y se almacenó a temperatura ambiente.	Fibra de pulpa de mango (FPM) como reemplazo de harina de trigo en proporciones 20:90, 20:80 y 30:70. Fibra de pulpa de mango seca (FPMS) como reemplazo de harina de trigo en proporciones	Se formuló muffins reemplazando harina de trigo (HT) ya sea por FPM o FPMS manejando: HT: FPM (90:20, 80:40 y 70:60) y HT: FPMS (10:90, 40:80 y 60:70). Los datos de la evaluación sensorial se analizaron estadísticamente y los tratamientos mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan.	FPMS como reemplazo de harina de trigo en proporción 60:70.	La fibra dietética aumentó diez veces con la adición de FPMS, presentando un índice glucémico bajo. Los muffins desarrollados presentaron aumento en el valor nutritivo y potencial bioactivo en polifenoles (ácido gálico, epicatequina y catequina) y carotenoides (β-caroteno, luteína). Los muffins desarrollados con FPMS son ricos en nutrientes con altos beneficios para la salud debido al espectro retenido de ácidos	Sudha et al (2015).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
			10:90, 40:80 y 60:70.			fenólicos y carotenoides a pesar de hornearse.	
Orujo de manzana	Galletas de arroz	El orujo fue secado (40 °C), se molió y se tamizó hasta polvo.	Polvo de orujo de manzana (POM) (0g/100 g, 3g/100g, 6g/100g y 9g/100 g).	Galletas con POM (0 g/100 g, 3 g/100 g, 6 g/100 g y 9 g/100 g),se evaluó aspectos fisicoquímicos, sensoriales y actividad antioxidante, mediante prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$), utilizando SPSS 18.0.	9g/100 g de POM.	Las galletas con el 9% de POM presentaron mayores niveles de propiedades antioxidantes (polifenoles y fibra dietética), actividad eliminadora de radicales y contenido total de fenólicos y flavonoides. La galleta a base de POM presentó más fibra dietética, especialmente fibra insoluble, que las muestras de control. La variación de color y textura se obtuvo con la incorporación de orujo de manzana. Las galletas se mostraron ricas en minerales como cloro, potasio, fósforo y azufre.	Mir et al (2017).
Orujo de manzana	Galletas	El orujo de manzana se secó (58-60 ºC) y se molió hasta obtener un polvo fino el cual fue almacenado a temperatura ambiente.	Polvo de orujo seco de manzana (POSM) añadió a harina de trigo al 5, 10, 15, 20 y 25%	Las galletas se elaboraron con harina compuesta (POSM al 5, 10, 15, 20 y 25% con harina de trigo), evaluando aspectos fisicoquímicos, sensoriales y actividad antioxidante, mediante ANOVA y prueba de rangos múltiples de Duncan, utilizando el software estadístico J Food Sci Technol 123 Stat Graphics Plus para Windows, Versión 3.1.	10% de POSM.	Aumentó el contenido de grasa y fibra de la harina compuesta, con una disminución significativa de la actividad de la amilasa. Las características reológicas de la harina compuesta se vieron afectadas por la disminución en el porcentaje de gluten. La capacidad de absorción de agua de la harina aumenta con POSM, ya que el contenido de fibra aumenta la absorción de agua. Se puede agregar un 10% de POSM en la fórmula sin afectar la evaluación sensorial.	Usman et al (2020).
Subproductos de piña, manzana y melón.	Galletas	Los residuos se deshidrataron (40 °C, 0,998 mbar, 96 h), luego se molieron (0,425 mm) y se	Harinas de piña, manzana y melón, en las concentraciones del 5%, 10% y 15%.	10 formulaciones de galletas: control: solo con harina de trigo y formulaciones complementadas con polvo de frutas: piña, manzana y	15% de harina de melón o 15% de subproducto de piña	Las galletas con un 15% de harina de melón presentaron mejores puntajes nutricionales: contenido de fibras (4,67-6,46%) y cenizas (1,74-2,25%).	de Toledo et al (2017).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		almacenaron (-18 °C).		melón en las concentraciones 5%, 10% y 15%. Se trabajó diseño completamente al azar para análisis fisicoquímico y diseño de bloques para el análisis sensorial mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$), utilizando programa (SAS) modelo 9.2.		Todas las galletas fueron ligeramente más oscuras. Las galletas con 15% de subproducto de piña presentaron la mayor tasa de aceptación (97%) e intención de compra (53%).	
Hoja de olivo	Palitos de pan	Las hojas de olivo se secaron (120 °C por 8 min) hasta humedad <1%, se molieron y se agregó agua (proporción 1/20, p/v) para someter a ultrasonido (tres veces, 30 min a 35 ± 5 °C). El extracto se filtró y se liofilizo para almacenarse a -20 °C.	Extracto de hoja de olivo (EHO) a 400 mg/kg	Snacks con EHO (0 mg/ Kg y 400 mg/Kg). C_1: oxidación acelerada horno (60 °C) en días 5 y 10, C_2: empaques en bolsas (permeabilidad $O_2 < 1100$ cm^3/ m^2 por 24 h, a 25 °C, 0% H.R., y permeabilidad agua < 5 g^3/ m^2, 24 h, a 38 °C, 90 % H.R) y C_3: almacenamiento normal (20 ± 1 °C; iluminación artificial/oscuridad alterna, 12 h) durante seis meses. Se utilizó ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$) mediante el Minitab Statistical Software.	400 mg/kg de EHO.	Disminuyó la degradación oxidativa forzada durante la prueba de horno, del 27% en compuestos volátiles y del 42% en triacilglicerol, en comparación con el control. En las condiciones de almacenamiento, el EHO mejoró los parámetros sensoriales, los tiempos de inducción, la actividad antioxidante y los compuestos volátiles en comparación con el control (hexanal 165,49 frente a 38,31 µg/g en extracto de hoja de olivo agregado).	Difonzo et al (2018).
Plátano verde	Panes sin gluten (plátano verde, harina alternativa y almidón de yuca, 45/50)	Harinas de plátano verde (HPV), hongo ostra, quinua, lentejas, arveja amarilla y trigo fueron compradas a Bioingredientes, Medellín, Colombia.	Harina de plátano verde (2, 8, 15%)	Diseño factorial completo, efecto 1: HPV (2, 8 y 15%), efecto 2: harinas alternativas (quinua, lenteja, guisante y hongo ostra), realizando ensayos aleatorios y por triplicado. Se analizaron datos con software R (2017), componentes principales con los paquetes Factoextra y Stats y con ANOVA los	Guisantes + 8% HPV, quinua +15% HPV y lentejas + 15% HPV.	Las formulaciones recomendadas fuero: guisantes + 8% harina de plátano, quinua +15% harina de plátano y lentejas + 15% harina de plátano; ya que sus perfiles fueron más cercanos a los del control (pan de trigo). Estas formulaciones presentaron un mayor contenido de fibra y un menor contenido de carbohidratos que el control.	Martínez-Castaño et al (2020).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
				efectos de factores e interacciones.			
Coproducto camu-camu (fruta exótica de la amazonia)	Galletas	El camu-camu se secó (50°C, 9 h; 60°C, 7 h y 70° C, 5 h), se molió (malla 16) y se almacenó a -22°C.	Polvo de camu-camu (CC) como reemplazo de la harina de trigo en porcentajes del 5% al 20%.	Formulaciones galletas (harina de trigo: CC, 100:0%; 95:5%; 90:10%; 85:15% y 80:20%). El análisis fisicoquímico y potencial antioxidante se realizó por triplicado, mediante ANOVA unidireccional y prueba de Duncan ($p<0.05$) usando el software SAS. (Versión 9.2).	20% de CC como reemplazo de la harina de trigo.	La sustitución máxima del 20% no afectó las propiedades físicas de las galletas respecto a las galletas control, mejorando los fenólicos totales y el potencial antioxidante.	Chagas et al (2021).
Cáscara de granada y residuos de naranja.	Galletas	Las cáscaras de granada se secaron (40ºC por 48 h) y se molieron (112 ± 0,1 mm). El bagazo de naranja lavado, se secó (60ºC), se molieron y se tamizaron. La extracción se realizó por ultrasonido (130 W y 20 kHz) y luego se realzó la encapsulación (relación material pared a núcleo: 9/1; 162°C; 17,5 m3/h; tasa de agente atomizador: 0,8 m3/h; 5,0 bar; velocidad de alimentación: 1,75 g/min; concentración de sólidos: 5,00 % p/p; 25°C).	Extracto de cáscara de granada encapsulado con residuos del zumo de naranja (ECGEN) a una concentración de compuestos fenólicos de 5000 ppm.	Se formuló galletas a 5000 ppm de contenido fenólico, evaluando contenido fenólico, actividad antioxidante, color y atributos sensoriales durante horneado y almacenamiento, utilizando ANOVA y el software estadístico MINITAB (versión 13.32).	5000 ppm de ECGEN.	El horneado provocó una pérdida total del contenido fenólico de aproximadamente 65 y 76% para el extracto encapsulado y crudo, respectivamente. La encapsulación tuvo un efecto significativo sobre la retención y las actividades de los compuestos fenólicos en comparación con los no encapsulados. Los resultados mostraron que los extractos podrían incorporarse en las galletas sin afectar negativamente la calidad sensorial.	Kaderides et al (2020).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
Cáscaras de naranja	Galletas de mijo perla	Las cascaras de naranja se secaron (40 ºC por 48 h), se molieron (150 mm) y se almacenaron herméticamente.	Polvo de cáscara de naranja (PCN) en diferentes niveles de sustitución (5, 10, 15 y 20%)	Se elaboró galletas (harina de mijo: PCN, 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 y 80:20), evaluando potencial antioxidante proximal, fibra dietética y aceptación del consumidor, ensayos por triplicado y analizados mediante ANOVA y prueba de rango múltiple de Duncan ($p < 0,05$).	20% de PCN.	Se obtuvieron variaciones en el contenido total de fenoles (5,84 y 11,87 mg GAE/g), flavonoides totales (1,20 y 8,12 mg de equivalentes de quercetina (QE)/g) y en contenido de radicales ABTS (1,17 y 2,19 mmol/TEAC/g). La fibra dietética aumentó significativamente con un aumento en PCN. Los valores de fibra dietética oscilaron entre 4,84 y 5,28%. Aumento significativo de las propiedades antioxidantes y de la fibra dietética conforme aumenta PCN.	Obafaye & Omoba (2018).
Cáscaras y semillas de naranja	Brioches	Las cascaras se lavaron y se desamargaron con NaOH en diferentes tiempos (30, 60, 90 y 120 min), se neutralizaron con solución ácido cítrico, se prensaron, secaron y molieron (50 µm).	Fibra de naranja (FN) como sustituto de grasa en diferentes porcentajes (30, 50 y 70%)	Formulación brioches reemplazo grasa por FN (30, 50 y 70%). Se analizaron características físico-químicas y nutricionales, los días 0, 1 y después del día 5, mediante ANOVA, prueba de Fishers ($p <0,05$), utilizando el software estadístico XLSTAT.	50% de FN como sustituto de grasa.	Los diferentes niveles de sustitución dieron como resultado productos finales con contenido constante de carbohidratos, menor contenido de grasa y un mayor contenido de fibra dietética y proteína. El reemplazo del 50% de grasa permitió obtener brioches con propiedades tecnológicas mejoradas y con características microbiológicas deseables, principalmente dentro de las primeras 24 h desde la producción y hasta 5 días de almacenamiento.	Caggia et al (2020).
Cáscara de granada	Galletas de harina de trigo	La cascara de granada sin membranas interiores se secaron a la sombra y se molieron (0,2 mm). El polvo se sometió a extracción	Extracto de cáscara de granada (ECG) y bagazo de cáscara de granada (BCG) en proporciones de 0,25 a 1,0 %	Se suplementaron ECG y BCG a galletas de harina de trigo en proporciones de 0,25 a 1,0 % y de 1,5 a 7,5 %, respectivamente. Todos los experimentos se realizaron tres veces y con tres repeticiones, evaluando características	7,5% de BCG y 1% de ECG.	Galletas con 7,5% de BCG redujeron el contenido calórico y mejoraron significativamente la fibra dietética y los residuos inorgánicos del producto. Se observó una correlación positiva para el contenido de fenólicos de las galletas con 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo	Ismail et al (2016).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		hidroalcoholica (solvente (etanol): agua; 70:30; 25° C por 3 h), luego a filtrado, evaporación (25 °C), liofilización y secado (52 ° C durante 3 días).	y de 1,5 a 7,5 % respectivamente.	fisicoquímicas, poder antioxidante y aceptabilidad sensorial, mediante ANOVA de dos vías, prueba LSD ($p < 0,05$), utilizando el software Statistix (versión 8.1).		(DPPH) y el ensayo de poder antioxidante reductor férrico. Galletas con ECG, inhibieron el número de ácido tiobarbitúrico en un 67% y redujeron el crecimiento de los recuentos de aeróbicos (2,04–1,30 log 10 ufc/g) y levaduras/mohos (1,70–1,05 log 10 ufc/g). La evaluación sensorial de galletas suplementadas con BCG indicó una puntuación relativamente más baja en textura y textura crujiente, mientras que otras combinaciones de tratamientos se clasificaron como aceptables para todos los parámetros sensoriales.	
Lechuga	Pan	Los residuos de lechuga se secaron (70 ± 0,5°C, 55-65% HR, 15 h), se molieron, tamizaron y se almacenaron a 20 °C en bolsas de aluminio.	Harina de desechos de lechuga (HL) como sustituyente parcial de harina de trigo (26, 53, 170 y 575 g/ kg).	Se elaboró pan sustituyendo harina de trigo por HL (26, 53, 170 y 575 g/ kg), evaluando actividad antioxidante y aceptación sensorial, mediante ANOVA, prueba de Bartlett y prueba de Tukey ($p <0,05$), utilizando IBM SPSS Statistics 20.	170 y 575 g/ kg de HL	La harina de desecho de lechuga aumentó significativamente el contenido de polifenoles (hasta 3,4 g GAE/kg) de las muestras de pan y mejoró su actividad antioxidante en un 200 %. El pan que contenía 170 y 575 g/ kg de HL presentó propiedades sensoriales y aceptabilidad por parte del consumidor comparables a las del pan integral comercial con un contenido similar de salvado de centeno.	Plazzotta et al (2018).
Brócoli	Pan sin gluten.	Las hojas de brócoli sin pecíolos y nervaduras se liofilizaron, secaron tamizaron (partícula ≤ 0,60 mm) y se almacenaron en refrigeración.	Polvo de hoja de brócoli (HB) como reemplazo del 5% (p/p) de almidón de maíz en la fórmula.	Se elaboró pan sin gluten reemplazando almidón de maíz por HB al 5% (p/p), evaluando valor nutricional, calidad tecnológica, propiedades antioxidantes y actividad inhibidora mediante prueba t no apareada con corrección de	5% de HB como reemplazo del almidón de maíz en la fórmula	El pan sin gluten con HB se caracterizó por un contenido significativamente mayor de nutrientes (proteínas y minerales), así como por un volumen específico y una pérdida de horneado mejorados. El HB mejoró significativamente el potencial	Krupa-Kozak et al (2021).

Residuo	Producto de panificación	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
				Weich ($p < 0,05$) y ANOVA unidireccional, utilizando GraphPad Prism versión 8.0. para Windows, software GraphPad.		antioxidante y la actividad anti-productos finales de glicación avanzada (AGE).	
Tallos y hojas de brócoli	Pan	Los tallos y hojas limpias y desinfectadas se secaron a temperatura ambiente, luego se congelaron, se liofilizaron y se molieron para obtener polvo el cual se almaceno a -20 °C.	Polvo de residuos de brócoli (PRB) a una concentración del 2% (p/p).	Se formularon panes con nivel de sustitución de PRB (0% y 2%) y se evaluaron propiedades fisicoquímicas y nutricionales, mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$).	2% (p/p) de PRB.	Los panes mostraron un mayor tono verde y una mayor intensidad del color de la corteza y la miga. La incorporación de polvo de residuos de brócoli en las formulaciones de pan aumentó significativamente el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de los panes. La aceptación general y la apariencia de los panes no se vieron afectadas por la incorporación del brócoli.	Lafarga et al (2019).
Cebolla	Pan	Los residuos de cebolla se secaron (70 ºC por 16 h) y se mezclaron hasta obtener polvo fino el cual fue almacenado a 4 ºC.	Polvo de residuos de cebolla (PRC) como aditivo en harina de trigo en diferentes niveles: 0, 1, 2, 3, 4 y 5%.	La harina se reemplazó parcialmente con PRC (0, 1, 2, 3, 4 y 5%), se elaboró pan y se evaluaron propiedades de la masa y la calidad del pan, mediante ANOVA y pruebas de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$) con el software Statgraphics Centurion XVI Versión 16.2.04.	3% de PRC.	Se obtuvo un nivel aceptable de sustitución con el 3% para producir pan enriquecido con fibra dietética, compuestos fenólicos totales y flavonoides totales, y caracterizado por una alta actividad antioxidante y una calidad sensorial aceptable.	Prokopov et al (2018).

Fuente. Autores

Otras Industrias Alimentarias

Como se puede apreciar en la tabla 15, las industrias alimentarias han centrado su interés en desarrollar alimentos funcionales mediante el enriquecimiento de sus formulaciones con el uso de compuestos bioactivos provenientes de residuos de frutas y verduras, para ello se han estudiado su uso como: (i) aportantes de la fibra dietética en pasta de tomate y mermelada para diabéticos (Belović et al., 2017; Torbica et al., 2016), (ii) aumento en el contenido fenólico total y/o actividad antioxidante como en el aceite de oliva, aceites refinados de oliva y aceite de girasol enriquecido con antioxidantes (licopeno), puré de frutas y bebidas de frutas (jugo de mango, naranja, manzana) (Amofa-Diatuo et al., 2017; Bendini et al., 2015; Bobinaite et al., 2016; Kehili et al., 2018; Natukunda et al., 2015; Ortiz et al., 2017) y (iii) su capacidad de complementar acciones antioxidantes y antimicrobianas en la elaboración de recubrimientos comestibles como en el caso de retrasar la maduración en cerezas dulces o evitar la pudrición poscoseha de las naranjas (Kharchoufi et al., 2018; Zam, 2019).

Los resultados obtenidos han mostrado que independientemente del tipo de alimento objeto de estudio, los niveles de adición de los residuos de frutas y verduras (polvo, harina o extractos) influyen directamente sobre la calidad sensorial de los alimentos involucrados, efectos adversos provenientes de la naturaleza de la partícula y la escala de insolubilidad que pueda presentar el residuo incorporado, lo que conduce en algunos casos a una mala compatibilidad con la matriz alimentaria (Lu et al., 2019; Trigo et al., 2020).

Tabla 15

Residuos de frutas y verduras utilizados para la elaboración de diferentes alimentos funcionales

Residuo	Producto	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
Orujo de tomate	Pasta de tomate	Se utilizó orujo de tomate fresco.	Orujo de tomate (OT) reemplazando el 2% de pasta de tomate.	2% OT en la formulación de pasta de tomate y se realizó comparación en términos de propiedades reológicas y sensoriales con cinco productos comerciales, mediante análisis de desviación estándar, matriz de atributos sensoriales y análisis de componentes principapes, utilizando software estadístico XLSTAT para Microsoft Excel, versión 2012.2.02.	2% de OT.	Aumentó el contenido de fibra (3,18 g/100 g de fibra dietética total). Las propiedades reológicas del kétchup se mantuvieron dentro de los límites de los productos de tomate estándar. El producto presentó propiedades sensoriales más similares al tomate fresco o ligeramente procesado.	Torbica et al (2016).
Orujo de tomate	Mermelada de albaricoque comercial para diabéticos	El orujo de tomate se liofilizo y se molió.	Orujo de tomate liofilizado (OTL) en cantidades de 13.4g a 17,6g según la formulación.	Se formularon 4 mermeladas con diferentes niveles de OTL (0g, 13.4g, 16.4g, 16.4g y 17.6g), evaluando parámetros fisicoquímicos utilizando Matlab R2011b mediante la aplicación de la ecuación del modelo fraccional de Kelvin-Voigt.	17,6g de OTL en formulación.	Las mermeladas con orujo de tomate presentaron entre 15 y 20 veces más fibra dietética que la que se encuentra en las mermeladas comerciales de albaricoque. Las formulaciones de mermeladas se caracterizaron por un menor contenido total de carbohidratos (17,23–43,81%) y un menor valor energético (87,1–193,7 kcal/100 g) en comparación con los productos comerciales.	Belović et al (2017).
Semillas y piel del tomate	Aceite de oliva enriquecido con antioxidantes (licopeno)	La piel y semilla de tomate se congelaron, liofilizaron y se	En experimento 1: a) 1 Kg de residuos de tomate	Experimento 1: a) 40 Kg de olivo + 1 Kg de RTD, b) 40 Kg de olivo + 0,240 Kg de RTD.	1,125 Kg de RTD en co-molienda de oliva.	El aceite mostró un enriquecimiento significativo en carotenoides, especialmente	Bendini et al (2015).

Residuo	Producto	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		almacenaron para realizar los experimentos.	descongelado (RTD), b) 0,240 Kg de RTD. Experimento 2: a) 1,125 Kg de RTD, b) 0,270 Kg de RTD.	Experimento 2: a) 60 Kg de olivo + 1,125 Kg de RTD, b) 60 Kg de olivo + 0,270 Kg de RTD. Se evaluaron aspectos sensoriales y fisicoquímicos del aceite mediante prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y ANOVA con prueba post-hoc de diferencia de mínimos cuadrados de Fishers ($p < 0,05$).		en licopeno, con 40 kg de aceitunas del cultivar Correggiolo y 60 kg de mezclas de aceitunas de diferentes cultivares se obtuvo valores medios de 5,4 y 7,2 mg/kg de aceite de subproductos descongelados y liofilizados respectivamente.	
Cáscaras y semillas de tomate	Aceites refinados de oliva y girasol almacenado durante cinco meses.	Los residuos de tomate (35% semillas y 65% cáscaras) se secaron al sol (materia seca de 95 ± 2%), se molieron (300 µm) y se almacenaron a -20ºC. La oleorresina se extrajo mediante maceración (hexano, 200 rpm y 25 °C), filtración y evaporación al vacío (45 °C).	Oleorresina rica en licopeno (ORL) agregada a aceite de oliva (AO) y a aceite de girasol (AG) concentraciones de 250, 500, 1000 y 2000 µg/g.	Se agregó ORL a AO y AG (250, 500, 1000 y 2000 µg/g) manejando control con BHT a 200 µg/g, analizando oxidación de lípidos. Los datos se analizaron mediante múltiples pruebas t, correlación de Bravais Pearson y modelado de regresión lineal, utilizando software GraphPad Prism (versión 6.0).	250 µg/g y 2000 µg/g de ORL, para AO y AG respectivamente.	Se obtuvieron mejores resultados con una concentración de 250 µg/g y 2000 µg/g de oleorresina de cáscara de tomate, refiriéndose a 5 µg/g y 40 µg/g de licopeno, para la estabilización oxidativa del aceite refinado de oliva y aceite de girasol, respectivamente. El efecto protector de la oleorresina de la cáscara de tomate contra la oxidación primaria de estos aceites refinados se correlacionó significativamente con su contenido de licopeno.	Kehili et al (2018).
Semillas de tamarindo	Jugo de mango	Las semillas limpias se secaron al sol durante 14 días, se molieron y tamizaron (300 µm) y se almacenaron a 18 °C.	Polvo de semilla de tamarindo (PST) entre el 1 y 10 %.	El jugo de mango (9°Brix) se mezcló con PST (0%, 0,5%, 1,5%, 1%, 2% y 2,5% (p/v)), se analizaron fenoles totales, actividad antioxidante y aceptabilidad al consumidor. Los	1,5% de PST.	El PST aumentó el pH y la viscosidad y redujo la acidez titulable del jugo. Aumento: el contenido fenólico total (6,84 ± 0,21 a 88,44 ± 0,8 mg de ácido gálico/100 mL); flavonoide (4,64 ± 0,03–21,7 ± 0,36 mg equivalentes de	Natukunda et al (2015).

Residuo	Producto	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
				experimentos se realizaron por triplicado, utilizando ANOVA y análisis de regresión con el software Student Edition del software Statistix 9.0.		catequina/100 mL); taninos condensados (0,24 ± 0,01–21,81 ± 0,08 mg equivalentes de catequina/100 mL) y actividad antioxidante total (4,65 ± 0,88–21,70 ± 0,03 mg de vitamina C/100 mL) del jugo. La mejor aceptabilidad del jugo se obtuvo con un nivel de 1,5% de sustitución de PST.	
Cáscara de plátano.	Jugo de naranja recién exprimido (JNE) y jugos concentrado (JC).	Las cascaras cortadas en trozos (0,5 × 1 mm), se liofilizaron, molieron (< 1 mm) y se almacenaron (-20 °C). La extracción se realizó con etanol (piel: disolvente; 1:7), luego se centrifugo y evaporo al vacío el solvente (37°C por 24h), obteniendo extracto seco.	Extracto de cáscara de plátano (ECP).	El JNE (total: 25 L, tres lotes: 5, 10 y 10 L) y JC (total: 25 L, tres lotes: 5, 10 y 10 L), fueron homogenizados con ECP y envasados en botellas de vidrio ámbar estériles (121 °C por 30 min) (250 ml; un total de 100 botellas en tres lotes). Se evaluó características fisicoquímicas y sensoriales mediante ANOVA, prueba de Fisher y análisis de correlación lineal simple con el software Statgraphics-Plus 5.1	5 mg de ECP/ml de JNE.	Aumentó la capacidad de eliminación de radicales libres en ambos tipos de jugo de naranja. Aumentos notables en la capacidad antioxidante con cantidades iguales o superiores a 5 mg de extracto de cáscara de plátano/ mL de producto recién exprimido. No se observaron efectos claros en la capacidad de inhibir la peroxidación lipídica. La adición de 5 mg de extracto de cáscara de plátano por mL de jugo de naranja no modificó sustancialmente las características fisicoquímicas y sensoriales de ninguno de los tipos de jugo; sin embargo, se detectaron cambios indeseables en las características sensoriales (sensaciones en la boca y color) cuando se agregaron 10 mg de extracto de	Ortiz et al (2017).

Residuo	Producto	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
						cáscara de plátano por mL de jugo de naranja.	
Hojas y tallos de coliflor	Bebida de jugo de manzana enriquecida con isotiocianatos	El tallo y hojas de coliflor se escaldaron (90±2 °C por 1 min), cortaron, secaron hasta 10% humedad (50-55 °C) y se molieron hasta polvo (0,5 mm). La extracción se realizó con diferentes solventes (agua destilada, 70% metanol o 80% acetonitrilo) y por ultrasonido (24 kHz, 400 W, amplitudes 20% o 100%, por 5 min), se centrifugo y se filtró al vacío.	Extractos de coliflor (EC) entre el 10-40%.	Se agregó EC a jugo de manzana en diferentes concentraciones (0, 10%, 20% y 40%), determinando isotiocianatos, fenoles totales y actividad antioxidante, mediante superficie de respuestas (respuesta: rendimiento de isotiocianatos o fenoles totales y variables independientes: amplitud y tiempo de tratamiento). Se utilizó el software MINITAB Release 14 (Six Sigma Academy International) para el análisis de regresión y análisis de varianza (ANOVA).	10% de EC.	Aumentó el contenido de isotiocianatos del jugo, siendo los valores más altos los del 40 %. Se encontraron diferencias significativas en el olor y el sabor en los jugos de manzana que contenían 20% y 40% de extractos de coliflor en comparación con las muestras de control. Los resultados mostraron que la bebida con un 10% de extracto añadido conservó bien las propiedades sensoriales.	Amofa-Diatuo et al (2017).
Orujo de frambuesa	Puré de frutas: (1) peras/manzanas/ciruelas cerezas amarillas y (2) manzanas/grosellas negras	El orujo de frambuesa se secó (50 ºC) y se molió (0,5 mm). La extracción se realizó con etanol (80%), en proporciones disolvente: orujo de 5:1, 3:1 y 3:1, posteriormente se filtraron, concentraron (evaporador rotatorio), se liofilizaron y se	Extracto de orujo de frambuesa (EOF) de 0,2 a 2%.	Puré de frutas 1: 20% pera, 10% manzana y 20% ciruela + 50% de jarabe de sacarosa (30 Brix), puré de fruta 2: 50% manzana y 25% grosellas negras + 25% jarabe de sacarosa (30 Brix). Se añadió EOF a purés (0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 y 2%); luego se pasteurizaron (20 min a 85 ± 2 ºC). Se evaluó composición química, actividad antioxidante y color utilizando la prueba	1,6%. de EOF.	Aumentó el contenido fenólico total (TPC) de 108,8 a 345,8 y de 176,1 a 396,2 mg/100 g en el puré (1) y (2), respectivamente. El contenido total de antocianinas (TAC), las concentraciones de ácido elágico y elagitanino, así como la capacidad antioxidante de los purés, también aumentaron al aumentar la concentración del aditivo de EOF. Las concentraciones más altas de extracto dieron como resultado un mayor amargor	Bobinaitė et al (2016).

Residuo	Producto	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
		almacenaron (20 ± 2 ºC).		de Turquía, ANOVA y prueba de comparación múltiple de Duncan ($p < 0,05$).		y astringencia de los productos; por lo tanto, se recomienda una concentración de aditivos de EOF en purés de hasta el 1,6%.	
Hoja de olivo	Cerezas dulces con recubrimiento de películas comestibles para reducir el proceso de maduración.		Recubrimiento con quitosano al 1% y alginato al 3% enriquecidos con extracto de hojas de olivo (OLE) al 1%.	Las frutas secas se sumergieron en soluciones de película por 2 minutos así: (1) 3% alginato, (2) 1% de quitosano, (3) 3% alginato + 1% OLE, (4) 1% quitosano + 1% OLE y (5) agua destilada como control. Posteriormente se secaron (25°C por 30 min) y empacaron a temperatura ambiente (25 ± 5°C y 65 ± 5% HR). Se evaluó de 4 a 20 días cambios en el almacenamiento, utilizando ANOVA unidireccional ($p <0,05$).	1% quitosano + 1% OLE y 3% alginato + 1% OLE.	El proceso de maduración y aumento de antocianinas fue retrasado con el uso de recubrimientos, particularmente aquellos compuestos de quitosano en combinación con OLE. El ácido ascórbico y el contenido fenólico total se registraron con pérdida restringida al final de 20 días de almacenamiento en muestras recubiertas con quitosano y alginato enriquecidas con OLE. Se informaron valores más altos de actividad antioxidante en correlación con el contenido fitoquímico.	Zam (2019).
Cáscara de granada	Naranjas con recubrimiento comestible para controlar el crecimiento de *Penicillium digitatum* y reducir la pudrición postcosecha.	Las cáscaras se secaron (35 °C por 2 días) y se pulverizaron. La extracción se realizó con metanol. El extracto se centrifugó, filtró, concentro y seco (40 °C) y finalmente se liofilizaron.	Recubrimientos comestibles con quitosano y goma de algarrobo con extracto de cáscara de granada en agua (ECGA) o extracto de cáscara de granada en metanol (ECGM).	Se preparó (1) película quitosano (Q): disolviendo Q (1%, p/v) + solución ácido acético glacial (1%, v/v) (40ºC por 12 h) + 20% glicerol, (2) película goma de algarrobo (GA): disolviendo polvo de GA + agua (0,5%, p/v) (70 ºC) + 20% glicerol. A película Q y GA se adiciono ECGA (0.072, 0.180 y 0.361 g/mL) y ECGM (0.061 g, 0.152 g y 0.304 g/mL). Se	0,361 g de ECGM para recubrimientos Q y GA.	La adición de 0,361 g de ECGM seco/mL, tanto a los recubrimientos de quitosano como a los de goma de algarrobo, redujo significativamente la incidencia de enfermedades DI en un 49% y un 28% respectivamente, con respecto a los controles relativos. Además de la combinación quitosano y goma de algarrobo + ECGA, la adición de células de *W. anomalus* a los recubrimientos reforzó el	Kharchoufi et al (2018).

Residuo	Producto	Preparación polvo / extracto	Concentración evaluada	Condiciones experimentales	Dosis optima	Efecto encontrado	Referencia
				cortaron discos (4 mm) y se colocaron en placa PDA inoculados con *Penicillium digitatum* (25ºC por 6 días). Los experimentos se realizaron por triplicado, mediante ANOVA y prueba de rango múltiple de Duncan ($p < 0,05$) utilizando software Minitab™ versión 16.0.		efecto antifúngico con respecto a los controles relativos, como lo demuestra la reducción significativa de DI (hasta 95 y 75% respectivamente)	

Fuente. Autores

Tendencias Futuras en el Uso de Compuestos Bioactivos Obtenidos de Residuos de Frutas y Verduras en la elaboración de Alimentos Funcionales

Teniendo en cuenta las investigaciones consultadas, se puede afirmar que el desarrollo de alimentos funcionales utilizando residuos de frutas y verduras, deben apuntar hacia:

- Trabajar en la optimización del alimento funcional mediante el uso de herramientas estadísticas como los diseños combinados y superficies de respuestas que permitan lograr un equilibrio entre el valor nutricional, la calidad sensorial y la calidad microbiológica de los productos desarrollados (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022; Lu et al., 2019; Szabo et al., 2018).
- El diseño de alimentos funcionales requiere investigaciones sobre la estabilidad e interacciones de los compuestos fenólicos con otros ingredientes alimentarios, debido a la complejidad de la reacción de los polifenoles a sus productos oxidados (quinonas) y su posible toxicidad (Caporaso et al., 2018; Ou et al., 2019).
- Realizar estudios a escala industrial sobre la aplicación de residuos de frutas y verduras, ya que la información con la que se dispone surge de ensayos y pruebas a nivel de investigaciones realizadas en laboratorios (Calderón-Oliver & López-Hernández, 2022).
- Se necesitan estudios complementarios que establezcan dosis óptimas, toxicidad, bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos extraídos de los residuos de frutas y verduras en el cuerpo humano, evaluando la promoción de la salud y el bienestar (Melini et al., 2020; Pateiro et al., 2021; Peiretti et al., 2020; Szabo et al., 2018; Trigo et al., 2020).
- A pesar de que la utilización de compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras es cada vez más común y aunque su uso industrial no parece ser inminente, se

debe trabajar en normativas que legisle la inclusión de estos compuestos en los alimentos funcionales (Pateiro et al., 2021).

Conclusiones

La revisión realizada cumplió con las expectativas planteadas. Mediante un análisis bibliométrico detallado y una revisión crítica de la literatura existente, se ha demostrado que los residuos de frutas y verduras son una fuente rica en compuestos bioactivos. Esto ha proporcionado una visión clara y concisa del estado actual de las metodologías de aprovechamiento de estos residuos, así como sus potenciales aplicaciones en la industria alimentaria. En conclusión, esta monografía ha logrado responder a la pregunta de investigación inicial, ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la bioeconomía y el desarrollo de alimentos funcionales.

El interés sobre el aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos se centran en 4 *clusters* principales: (i) el aprovechamiento de los residuos del tomate, (ii) el aprovechamiento de residuos del mango, (iii) el aprovechamiento de los residuos generados por los cítricos y (iv) el aprovechamiento de los residuos de otras frutas y verduras; opción prometedora para la industria ya que estos residuos son ricos en compuestos bioactivos como: fibra dietética, vitaminas, minerales y fitoquímicos entre los que se encuentran: compuestos fenólicos, terpénicos, azufrados y nitrogenados, siendo los compuestos fenólicos, los compuestos terpénicos y la fibra dietética los más estudiados para su uso en alimentos funcionales.

Los compuestos bioactivos presentes en los residuos de frutas y verduras como: vitaminas A, C y E, minerales (Ca, Cu, Zn, Mn y Se) y polifenoles, tienen excelentes propiedades antioxidantes debido a su capacidad de eliminar radicales hidroxilos (OH), anión superóxido (O_2-) y oxígeno (O_2), disminuyendo de esta manera la actividad oxidativa y de

radicales libres al ser secuestrantes de oxígeno y quelantes, lo que los convierte en compuestos útiles para la prevención y el tratamiento de las enfermedades producidas por el estrés oxidativo.

Los compuestos bioactivos extraídos de residuos frutas y verduras presentan actividades cardioprotectoras, antiinflamatorias, antidiabéticas, antiobesidad, antitumorales, neuroprotectoras, gastroprotectoras, anticoagulantes, antitrombóticos, hipocolesterolémicas, anticancerígenas, antivirales, anticatarral, protector capilar, antihipertensivas, diuréticas, antibacterianas, antifúngicas, antihelmínticas, antimicrobianas, analgésicas, antidiabéticas, estrogénicas y antiulcerosas, entre otras, beneficios que abren muchas alternativas prometedoras para la industria alimentaria en el desarrollo de alimentos funcionales y en industrias como la cosmética y farmacéutica.

La extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos de frutas y verduras es un campo en constante evolución, donde la innovación y la sostenibilidad juegan un rol fundamental. La selección de la técnica de extracción debe balancear eficiencia, sostenibilidad y viabilidad económica, adaptándose a las propiedades específicas de los compuestos bioactivos y a las características de la matriz vegetal. La investigación continua y la adopción de tecnologías avanzadas serán clave para optimizar estos procesos y maximizar el aprovechamiento de estos valiosos recursos.

Las técnicas tradicionales como la maceración, la extracción Soxhlet y la hidrodestilación son ampliamente conocidas y estudiadas, pero tienden a ser menos eficientes y con mayor impacto para el medio ambiente. Por otro lado, métodos avanzados como la extracción asistida por ultrasonidos, microondas, enzimas, el uso de fluidos supercríticos y de campo eléctrico pulsado destacan por su mayor eficiencia. No obstante, estas técnicas avanzadas pueden implicar una mayor inversión inicial y una curva de aprendizaje más desafiante. La elección de la técnica

de extracción adecuada depende de varios factores, incluyendo el tipo específico de compuesto bioactivo, el tipo de residuo vegetal a aprovechar y las preocupaciones sobre sostenibilidad.

En industria cárnica debido a que los principales problemas del deterioro y disminución de la vida útil es debida al crecimiento de microrganismos y a reacciones de oxidación de los lípidos, las investigaciones se centran en la aplicación de diferentes compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras como antioxidantes, antimicrobianos y como sustitutos de las grasas, encontrando que los polifenoles, carotenos, xantofilas, taninos, proantocianinas y vitaminas (E y C), presentan excelentes efectos antioxidantes, mientras que los polifenoles, compuestos de azufre, aldehídos y terpenos, presentan excelentes propiedades antimicrobianas. Por otra parte, las pectinas, fibras insolubles y almidones se estudian como sustitutos de las grasas. Sin embargo, es importante considerar que el aumento de la vida útil en estos productos es atribuido a la utilización de antioxidantes y antimicrobianos naturales extraídos de los residuos de frutas y verduras combinados con diferentes técnicas de conservación entre las que sobresalen la refrigeración, el vacío, altas presiones, irradiación, atmósferas modificadas y el desarrollo de envases activos con capacidad antioxidante.

En la industria láctea, el desarrollo de alimentos funcionales utilizando compuestos bioactivos extraídos de los residuos de frutas y verduras es realizada mediante la adición directa o mediante la encapsulación del compuesto, utilizándolos como prebióticos, antioxidantes, micronutrientes y ácidos grasos insaturados, buscando una fortificación adecuada sin que ella interfiera en la tasa de supervivencia de los microorganismos no iniciadores, probióticos y prebiótico, logrando el mayor beneficio posible, como en el caso de la adición de fibra, sus efectos son benéficos en la modulación de apetito y la saciedad, mientras que los compuestos antioxidantes como fitoesteroles, antocianinas y taninos incorporados a matrices como el queso,

mantequilla y yogur ha demostrado efectos en disminuir los procesos de oxidación de los lípidos y la reducción del colesterol LDL en adultos con hipercolesterolemia.

En la industria panificadora, la incorporación de compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras, se centra en el reemplazo parcial de la harina de trigo con el objetivo de mejorar la actividad antioxidante y el aumentar el contenido de fibra dietética total, logrando obtener productos funcionales con valor añadido; sin embargo, los trabajos desarrollados señalan que se debe investigar la calidad sensorial de los productos alimenticios enriquecidos ya que según el nivel de reemplazo se puede obtener efectos negativos sobre los atributos sensoriales y su aceptación por parte del consumidor.

Recomendaciones

La revisión bibliográfica realizada en este trabajo ha identificado que los estudios actuales sobre el aprovechamiento de los residuos de frutas y verduras se centran en la identificación y cuantificación de compuestos bioactivos extraídos, la aplicación y evaluación de diversas técnicas de extracción, así como el uso de estos compuestos para desarrollar alimentos funcionales. Sin embargo, es necesario ampliar la experimentación a niveles industrial y clínico, con miras futuras hacia:

- Desarrollar procesos de extracción capaces de preservar la integridad y la actividad de los compuestos bioactivos que sean eficientes, económicos y amigables con el medio ambiente.
- Escalar las investigaciones a nivel industrial, centrándose en aplicaciones específicas, evaluando los costos asociados y los mercados existentes.
- Estudiar a mayor profundidad en el desarrollo de alimentos la relación entre mejoramiento funcional debido a los compuestos bioactivos y la pérdida de calidad sensorial asociada.
- Estudios clínicos complementarios que comprueben la promoción de la salud y el bienestar asociados a los compuestos bioactivos mediante estudio de la eficiencia terapéutica, ensayos farmacocinéticas y farmacodinámicos, evaluación de biodisponibilidad, toxicidad y las dosis seguras.
- Se debe trabajar en la normatividad que legisle la inclusión de compuestos bioactivos extraídos de los residuos de frutas y verduras en el desarrollo de alimentos funcionales.

Referencias Bibliográficas

Abbassi, A., Mahmoudi, H., Zaouali, W., M'Rabet, Y., Casabianca, H., & Hosni, K. (2018). Enzyme-aided release of bioactive compounds from coriander (*Coriandrum sativum L*.) seeds and their residue by-products and evaluation of their antioxidant activity. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(8), 3065–3076. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3229-4

Abid, Y., Azabou, S., Jridi, M., Khemakhem, I., Bouaziz, M., & Attia, H. (2017). Storage stability of traditional Tunisian butter enriched with antioxidant extract from tomato processing by-products. *Food Chemistry*, *233*, 476–482. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.04.125

Acevedo, J. P., Robledo, S., & Angarita, M. S. (2020). Subáreas de internacionalización de emprendimientos: una revisión bibliográfica. *Economicas CUC*, *42*(1), 249–268. https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.17981/econcuc.42.1.2021.Org.7

Ahmadi, A., Salehi, A., Dadmehr, A., Ghodarzi, S., Sadighara, P., Samarghandian, S., & Farkhondeh, T. (2019). The effect of banana leaf package on the shelf life of rainbow trout fillet in comparison with plastic bags. *Bioscience Journal*, 503–508. https://doi.org/10.14393/BJ-V35N2A20198-42730

Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, *45*(3), 438–469. https://doi.org/10.15446/RCCIQUIFA.V45N3.62043

Akter, B., & Rabeta, M. S. (2021). Synbiotic and antioxidant activity of fruit by-products and their effect on human health. *Food Research*, *5*(1), 24–35.

https://doi.org/10.26656/FR.2017.5(1).401

Ali, A., Riaz, S., Sameen, A., Naumovski, N., Iqbal, M. W., Rehman, A., Mehany, T., Zeng, X. A., & Manzoor, M. F. (2022). The Disposition of Bioactive Compounds from Fruit Waste, Their Extraction, and Analysis Using Novel Technologies: A Review. *Processes*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/pr10102014

Ambrósio, C., Campos, F. D. A. C. E. S., & De Faro, Z. P. (2006). Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Revista de Nutrição*, *19*(2), 233–243. https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000200010

Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J. H. (2017). Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 16, Issue 2, pp. 295–315). Blackwell Publishing Inc. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253

Amofa-Diatuo, T., Anang, D. M., Barba, F. J., & Tiwari, B. K. (2017). Development of new apple beverages rich in isothiocyanates by using extracts obtained from ultrasound-treated cauliflower by-products: Evaluation of physical properties and consumer acceptance. *Journal of the Rio Grande Valley Horticultural Society.*, *61*, 73–81. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.10.001

Ancos, Colina-Coca, C., González-Peña, D., & Sánchez-Moreno, C. (2015). Bioactive compounds from vegetable and fruit by-products. *Biotechnology of Bioactive Compounds: Sources and Applications*, *9781118733*, 1–36. https://doi.org/10.1002/9781118733103.CH1

Ancos, Fernández, I. J., & Moreno, C. S. (2016). Functional compounds in fresh-cut and ready-to-eat products. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *17*(2), 130–148. https://www.redalyc.org/journal/813/81349041002/html/

Arana, N. (2020). *Una revisión de los beneficios en la salud humana y métodos de extracción de compuestos bioactivos de Vaccinium meridionales* [Universidad Nacional de Frontera]. http://repositorio.unf.edu.pe/bitstream/handle/UNF/100/19. NANCY MARIBEL ARANA TORRES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias, D., Montaño, L., Velasco, M., & Martínez, J. (2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. *Tecnura*, *22*(57), 55–68. http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v22n57/0123-921X-tecn-22-57-55.pdf

Arioui, F., Ait Saada, D., & Cheriguene, A. (2016). Physicochemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of Citrus sinensis. *Food Science & Nutrition*, *5*(2), 358–364. https://doi.org/10.1002/FSN3.400

Azcona, Á. C. (2016). *La cebolla, una aliada para la salud*. UCM. https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2016-11-17-carbajal-cebolla-2016.pdf

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Med Aromat Plants*, *4*(3), 1–6. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4172/2167-0412.1000196

Baenas, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2017). Study of the in vitro and in vivo bioactivity of glucosinolates/isothiocyanates-rich broccoli sprouts. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, *10*, 69–78. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6446417

Bakhattar, I., Koukouch, A., Chater, H., Mohamed, A., Mouaky, A., & Idlimam, A. (2022). Thermodynamic analysis of discontinuous adsorption isotherms of different types of oil pomace. *Heat and Mass Transfer*, *58*, 613–630. https://doi.org/10.1007/s00231-021-03120-y

Baldin, J. C., Michelin, E. C., Polizer, Y. J., Rodrigues, I., de Godoy, S. H. S., Fregonesi, R. P., Pires, M. A., Carvalho, L. T., Fávaro-Trindade, C. S., de Lima, C. G., Fernandes, A. M., & Trindade, M. A. (2016). Microencapsulated jabuticaba (Myrciaria cauliflora) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity. *Meat Science*, *118*, 15–21. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2016.03.016

Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, *225*, 10–22. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.12.093

Baquero, M. (2017). *Residuos alimentarios: análisis y propuesta de metodología de cuantificación* [Universidad de Cantabria]. https://1library.co/document/qv6x8oly-residuos-alimentarios-análisis-propuesta-metodología-cuantificación.html

Barbieri, S., Mercatante, D., Balzan, S., Esposto, S., Cardenia, V., Servili, M., Novelli, E., Taticchi, A., & Rodriguez-Estrada, M. T. (2021). Improved Oxidative Stability and Sensory Quality of Beef Hamburgers Enriched with a Phenolic Extract from Olive Vegetation Water. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, *10*(12). https://doi.org/10.3390/ANTIOX10121969

Barbosa-Pereira, L., Guglielmetti, A., & Zeppa, G. (2018). Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Cocoa Bean Shell and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, *11*(4), 818–835. https://doi.org/10.1007/s11947-017-2045-6

Basri, M. S. M., Shah, N. N. A. K., Sulaiman, A., Tawakkal, I. S. M. A., Nor, M. Z. M., Ariffin, S. H., Ghani, N. H. A., & Salleh, F. S. M. (2021). Progress in the valorization of fruit and vegetable wastes: Active packaging, biocomposites, by-products, and innovative technologies used for bioactive compound extraction. *Polymers*, *13*(20).

https://doi.org/10.3390/polym13203503

Beghè, D., Giordano, C., Pizzo, B., Lolli, V., Caligiani, A., Bonzanini, F., Anichini, M., Fiorentino, L., Rodolfi, M., Ganino, T., & Petruccelli, R. (2022). Caracterización de Granada (Punica granatum L.) a través del perfil morfoanatómico y lipídico de semillas para la valorización de accesiones italianas. *Sostenibilidad*, *14*(22). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su142214780

Belović, M., Torbica, A., Pajić-Lijaković, I., & Mastilović, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. *Food Chemistry*, *237*, 1226–1233. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.06.045

Bendini, A., Di Lecce, G., Valli, E., Barbieri, S., Tesini, F., & Gallina Toschi, T. (2015). Olive oil enriched in lycopene from tomato by-product through a co-milling process. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *66*(4), 371–377. https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1035230

Bermeo, C. I. (2021). Aplicaciones actuales en las técnicas del compostaje a partir de residuos sólidos urbanos. Revisión sistemática 2021 [Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/65415

Bertolino, M., Belviso, S., Dal Bello, B., Ghirardello, D., Giordano, M., Rolle, L., Gerbi, V., & Zeppa, G. (2015). Influence of the addition of different hazelnut skins on the physicochemical, antioxidant, polyphenol and sensory properties of yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(2), 1145–1154. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.03.113

Bhat, M., & Ahsan, H. (2015). Physico-chemical characteristics of cookies prepared with tomato pomace powder. *J Food Process Technol*, *7*, 543. https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000543

Bobinaite, R., Viskelis, P., Bobinas, Č., Mieželiene, A., Alenčikiene, G., & Venskutonis, P. R. (2016). Raspberry marc extracts increase antioxidative potential, ellagic acid, ellagitannin and anthocyanin concentrations in fruit purees. *LWT - Food Science and Technology*, *66*, 460–467. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.10.069

Bonilla, A. (2021). *Extracción asistida por enzimas de compuesto fenólicos a partir de cáscara de mango* [Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22000/1/CD 11495.pdf

Bordiga, M., Travaglia, F., & Locatelli, M. (2019). Valorisation of grape pomace: an approach that is increasingly reaching its maturity – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *54*(4), 933–942. https://doi.org/10.1111/IJFS.14118

Caggia, C., Palmeri, R., Russo, N., Timpone, R., Randazzo, C. L., Todaro, A., & Barbagallo, S. (2020). Employ of Citrus By-product as Fat Replacer Ingredient for Bakery Confectionery Products. *Frontiers in Nutrition*, *7*. https://doi.org/10.3389/FNUT.2020.00046

Calderón-Oliver, M., & López-Hernández, L. H. (2022). Food Vegetable and Fruit Waste Used in Meat Products. *Food Reviews International*, *38*(4), 628–654. https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1740732

Calderón, Á. E. (2020). *Métodos de extracción de carotenoides de muestras vegetales* [Universidad Complutense]. http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/Alvaro Espinoza Calderon.pdf

Campos, D. A., Coscueta, E. R., Valetti, N. W., Pastrana-Castro, L. M., Teixeira, J. A., Picó, G. A., & Pintado, M. M. (2019). Optimization of bromelain isolation from pineapple byproducts by polysaccharide complex formation. *Food Hydrocolloids*, *87*, 792–804. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.09.009

Campos, Hernández, M. J. A., Peláez, A. A., Hernández, S. I., Reyes, M. A., & González, M. L. (2023). Tecnologías sustentables (microondas, ultrasonido y CO2 supercrítico) para extracción de compuestos bioactivos en propóleo. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, *9*(Especial), 20–25. https://doi.org/10.29057/icap.v9iespecial.9260

Cañavi, M. J. G. (2022). *Aplicación del ultrasonido en la extracción por hidrodestilación y microondas de aceite esencial de cáscara de limón (Citrus aurantifolia)* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5444/guillen-cañavi-milagros-janeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Caporaso, N., Formisano, D., & Genovese, A. (2018). Use of phenolic compounds from olive mill wastewater as valuable ingredients for functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *58*(16), 2829–2841. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1343797

Cardoso, P. M., Dariva, C., Barroso Vieira, G. Â., & Hense, H. (2016). Extraction and evaluation of antioxidant potential of the extracts obtained from tamarind seeds (Tamarindus indica), sweet variety. *Journal of Food Engineering*, *173*, 116–123. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.001

Carpentieri, S., Ferrari, G., & Pataro, G. (2022). Optimization of Pulsed Electric Fields-Assisted Extraction of Phenolic Compounds From White Grape Pomace Using Response Surface Methodology. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *6*(April). https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.854968

Carvajal, C. (2020). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal De Costa Rica*, *36*(1). https://www.binasss.sa.cr/ojssalud/index.php/mlcr/article/view/116

Casarotti, S. N., Borgonovi, T. F., Batista, C. L. F. M., & Penna, A. L. B. (2018). Guava, orange and passion fruit by-products: Characterization and its impacts on kinetics of acidification and properties of probiotic fermented products. *LWT*, *98*, 69–76. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.08.010

Cascaes, A. S., Hidalgo, D. W., Zarur, M. A., Rosenthal, A., Fortes, L. M., & Tonon, R. V. (2020). Combination of enzyme-assisted extraction and high hydrostatic pressure for phenolic compounds recovery from grape pomace. *Journal of Food Engineering*, *288*(October 2019). https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110128

Castro. (2022). *Revisión bibliográfica de los avances tecnológicos e ingenieriles sobre el aprovechamiento del lactosuero* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD]. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/49774

Castro, Y., Altamar, T., Sarmiento, L., Valle, A., Villafañe, D., Blanco, D., & Pión, M. (2020). *Aprovechamiento de residuos de frutos citricos y su uso en la industria de alimentos* (Servicio Nacional de Aprendizaje (ed.)). Centro para el Desarrollo Agroecológico y Agroindustrial. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/7356/Aprovechamiento_de_residuos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chagas, E. G. L., Vanin, F. M., dos Santos Garcia, V. A., Yoshida, C. M. P., & de Carvalho, R. A. (2021). Enrichment of antioxidants compounds in cookies produced with camu-camu (Myrciaria dubia) coproducts powders. *LWT*, *137*, 110472. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110472

Chamorro, F., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Echave, J., Riaz Rajoka, M. S., Barba, F. J., Cao, H., Xiao, J., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Valorization of kiwi agricultural

waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: A circular economy model. *Food Chemistry*, *370*, 131315. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131315

Chaquilla, G., Balandrán, R., Mendoza, A., & Mercado, J. N. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, *12*(2), 137–147. https://www.redalyc.org/journal/4419/441955208011/html/

Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *41*, 357–377. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016

Chhikara, N., Kour, R., Jaglan, S., Gupta, P., Gat, Y., & Panghal, A. (2018). Citrus medica: nutritional, phytochemical composition and health benefits - a review. *Food & Function*, *9*(4), 1978–1992. https://doi.org/10.1039/C7FO02035J

Chiang, C. F., & Lai, L. S. (2019). Effect of enzyme-assisted extraction on the physicochemical properties of mucilage from the fronds of Asplenium australasicum (J. Sm.) Hook. *International Journal of Biological Macromolecules*, *124*, 346–353. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.11.181

Chuyen, H. V, Nguyen, M. H., Roach, P. D., Golding, J. B., Parks, S. E., Hoang, C., & Chuyen, V. (2018). Microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction for recovering carotenoids from Gac peel and their effects on antioxidant capacity of the extracts. *Food Sci Nutr*, *6*, 189. https://doi.org/10.1002/fsn3.546

Colina-Márquez, Á., Contreras, E., Ruiz, J., & Monroy, L. (2022). *Comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (Citrus maxima) Comparison*

of Two Methods for Essential Oil Extraction from Grapefruit (Citrus Maxima) Peels. *1*(1), 85–98. https://doi.org/10.32997/rin-2022-3729

Coman, V., Teleky, B. E., Mitrea, L., Martău, G. A., Szabo, K., Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2020). Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. *Advances in Food and Nutrition Research*, *91*, 157–225. https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2019.07.001

Comunian, T. A., Chaves, I. E., Thomazini, M., Moraes, I. C. F., Ferro-Furtado, R., de Castro, I. A., & Favaro-Trindade, C. S. (2017). Development of functional yogurt containing free and encapsulated echium oil, phytosterol and sinapic acid. *Food Chemistry*, *237*, 948–956. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.06.071

CONPES. (2018). Conpes. *Documento Conpes 3918*, 74. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3918.pdf

Cornejo-Figueroa, M. H., Cartagena-Cutipa, R., & Alcázar-Alay, S. C. (2020). Tecnologías ecoeficientes para la valoración de residuos agroindustriales en frutas y hortalizas. *Ingeniería Investiga*, *2*(01), 294–311. https://doi.org/10.47796/ing.v2i01.300

Costa, Alencar, N. M. M., Rullo, B. G. D. S., & Taralo, R. L. (2017). Effect of green banana pulp on physicochemical and sensory properties of probiotic yoghurt. *Food Science and Technology (Brazil)*, *37*(3), 363–368. https://doi.org/10.1590/1678-457X.01016

Costa, R. (2016). The Chemistry of Mushrooms: A Survey of Novel Extraction Techniques Targeted to Chromatographic and Spectroscopic Screening. In Atta-ur-Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (First Edit, Vol. 49, Issue September, pp. 279–306). https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63601-0.00009-0

Cotacallapa-Sucapuca, M., Vilca-Curo, R., & Coaguila, M. (2020). El orujo de uva Italia como fuente de compuestos bioactivos y su aprovechamiento en la obtención de etanol y compost.

Fave. Sección Ciencias Agrarias, *19*(1), 17–32. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1666-77192020000100002&script=sci_arttext&tlng=es

Cuco, R., Cardozo-Filho, L., & Silva, C. da. (2019). Simultaneous extraction of seed oil and active compounds from peel of pumpkin (Cucurbita maxima) using pressurized carbon dioxide as solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, *143*, 8–15. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.002

Cunha, L. C. M., Monteiro, M. L. G., Costa-Lima, B. R. C., Guedes-Oliveira, J. M., Alves, V. H. M., Almeida, A. L., Tonon, R. V., Rosenthal, A., & Conte-Junior, C. A. (2018). Effect of microencapsulated extract of pitaya (Hylocereus costaricensis) peel on color, texture and oxidative stability of refrigerated ground pork patties submitted to high pressure processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *49*, 136–145. https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.08.009

Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R., & Chams, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, *9*(S1), 122–132. https://doi.org/10.24188/RECIA.V9.NS.2017.530

de Toledo, N. M. V., Nunes, L. P., da Silva, P. P. M., Spoto, M. H. F., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2017). Influence of pineapple, apple and melon by-products on cookies: physicochemical and sensory aspects. *International Journal of Food Science & Technology*, *52*(5), 1185–1192. https://doi.org/10.1111/IJFS.13383

Del Toro, C., Ruíz, S., Márquez, E., Uresti, R., & Ramírez, J. (2015). *Alimentos funcionales y compuestos bioactivos*. https://doi.org/ISBN: 978-607-402-822-5

Difonzo, G., Pasqualone, A., Silletti, R., Cosmai, L., Summo, C., Paradiso, V. M., & Caponio, F.

(2018). Use of olive leaf extract to reduce lipid oxidation of baked snacks. *Food Research International (Ottawa, Ont.), 108*, 48–56. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.03.034

Difonzo, G., Squeo, G., Pasqualone, A., Summo, C., Paradiso, V. M., & Caponio, F. (2021). The challenge of exploiting polyphenols from olive leaves: addition to foods to improve their shelf-life and nutritional value. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(8), 3099–3116. https://doi.org/10.1002/JSFA.10986

Djukić-Vuković, A., Mladenović, D., Ivanović, J., Pejin, J., & Mojović, L. (2019). Towards sustainability of lactic acid and poly-lactic acid polymers production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *108*, 238–252. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.03.050

Domínguez, C., Morantinos, A., & Álvarez, M. (2020). *Valorización de subproductos de la agroindustria para una economía verde y circular* [Universidad de Extremadura]. https://doi.org/978-84-09-26056-0

Domínguez, Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants 2019, Vol. 8, Page 429*, *8*(10), 429. https://doi.org/10.3390/ANTIOX8100429

Dos Santos, L., Lorenzo, J. M., Gonçalves, C. A. A., Santos, B. A. dos, Heck, R. T., Cichoski, A. J., & Campagnol, P. C. B. (2016). Production of healthier bologna type sausages using pork skin and green banana flour as a fat replacers. *Meat Science*, *121*, 73–78. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2016.06.001

Duarte-Trujillo, A., Jiménez-Forero, J., Pineda-Insuasti, J., González-Trujillo, C., & García-Juárez, M. (2020). Extracción de sustancias bioactivas de Pleurotus ostreatus (Pleurotaceae) por maceración dinámica. *Acta Biol. Colomb*, *25*(1), 61–74. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n1.72409

Echchakoui, S. (2020). Why and how to merge Scopus and Web of Science during bibliometric analysis: the case of sales force literature from 1912 to 2019. *Journal of Marketing Analytics*, *8*(3), 165–184. https://doi.org/10.1057/S41270-020-00081-9

Elbadrawy, E., & Sello, A. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, *9*, S1010–S1018. https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2011.11.011

Ergezer, H., & Serdaroğlu, M. (2018). Antioxidant potential of artichoke (Cynara scolymus L.) byproducts extracts in raw beef patties during refrigerated storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(2), 982–991. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9713-0

Estévez, M. (2021). Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives. *Meat Science*, *181*, 108610. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2021.108610

Estrada-Sierra, N. A., Rincon-Enriquez, G., Urías-Silvas, J. E., Bravo, S. D., & Villanueva-Rodríguez, S. J. (2022). Impact of ripening, harvest season, and the nature of solvents on antioxidant capacity, flavonoid, and p-synephrine concentrations in Citrus aurantium extracts from residue. *Future Foods*, *6*, 100153. https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2022.100153

Fajardo, D., Sanchez, F., & Dueñas, J. (2022). Extraccion asistida por ultrasonido y su aplicacion en la obtencion de aceites vegetales. *Centro Azucar*, *49*(4), 125–143. https://www.researchgate.net/publication/373395723_EXTRACCION_ASISTIDA_POR_ULTRASONIDO_Y_SU_APLICACION_EN_LA_OBTENCION_DE_ACEITES_VEGETALES

Farag, M. A., Abib, B., Ayad, L., & Khattab, A. R. (2020). Sweet and bitter oranges: An updated comparative review of their bioactives, nutrition, food quality, therapeutic merits and biowaste valorization practices. *Food Chemistry*, *331*, 127306. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127306

Fayos, A., Giménez, C. M., & Claver, A. G. (2018). Evolución del conocimiento sobre la pungencia de la cebolla (Allium cepa L.) y del pimiento (Capsicum spp.): desde sus orígenes hasta el potencial nutracéutico actual. Revisión bibliográfica. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, *114*(2), 99–118. https://doi.org/10.12706/itea.2018.007

Frontuto, D., Carullo, D., Harrison, S. M., Brunton, N. P., Ferrari, G., Lyng, J. G., & Pataro, G. (2019). Optimization of Pulsed Electric Fields-Assisted Extraction of Polyphenols from Potato Peels Using Response Surface Methodology. *Food and Bioprocess Technology*, *12*(10), 1708–1720. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02320-z

Frosi, I., Montagna, I., Colombo, R., Milanese, C., & Papetti, A. (2021). Recovery of Chlorogenic Acids from Agri-Food Wastes: Updates on Green Extraction Techniques. *Molecules* , *26*(15), 4515. https://doi.org/10.3390/MOLECULES26154515

Fuentes, L., Acevedo, D., & Gelvez, V. (2015). Functional foods: impact and challenges for development and welfare society colombian. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *13*, 140–149. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(13)140-149

Gallo, M., Formato, A., Ciaravolo, M., Langella, C., Cataldo, R., & Naviglio, D. (2019). A water extraction process for lycopene from tomato waste using a pressurized method: an application of a numerical simulation. *European Food Research and Technology*, *245*(8), 1767–1775. https://doi.org/10.1007/S00217-019-03300-5

Gámez, J. (2020). Avances en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos. *Revista*

Ciencia y Tecnología Agrollanía, *19*, 7–17. http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/agrollania/article/view/960

George, B., Kaur, C., Khurdiya, D. S., & Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (Lycopersium esculentum) as a function of genotype. *Food Chemistry*, *84*(1), 45–51. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00165-1

Gobierno de Colombia. (2019). Misión internacional de sabios para el avance de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. Pacto por la Ciencia, la Tecnología y la Innovación: Un sistema para construir el conocimiento del futuro. In *Mision de Sabios - Colombia 2019*. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf

Gobierno de Colombia. (2020). Bioeconomía para una Colombia Potencia viva y diversa: Hacia una sociedad impulsada por el conocimiento. In *Gobierno de Colombia* (Vol. 1, pp. 1–48). https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sostenible-qm_print.pdf

Gómez. (2015). Usos y abusos de la bibliometría. *Revista Colombiana de Antropología*, *51*(1), 291–307. https://www.redalyc.org/pdf/1050/105042615013.pdf

Gómez, S., & Yory, F. (2018). Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ingenierías USBMed*, *9*(1), 69–74. https://doi.org/10.21500/20275846.3008

Gonçalves, L. A., Lorenzo, J. M., & Trindade, M. A. (2021). Fruit and Agro-Industrial Waste Extracts as Potential Antimicrobials in Meat Products: A Brief Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(7). https://doi.org/10.3390/FOODS10071469

Gong, P., Wang, S., Liu, M., Chen, F., Yang, W., Chang, X., Liu, N., Zhao, Y., Wang, J., & Chen, X. (2020). Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of

mushroom polysaccharides: A mini-review. *Carbohydrate Research*, *494*, 108037. https://doi.org/10.1016/J.CARRES.2020.108037

Gowda, A., Sharma, V., Goyal, A., Singh, A. K., & Arora, S. (2018). Process optimization and oxidative stability of omega-3 ice cream fortified with flaxseed oil microcapsules. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(5), 1705–1715. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3083-4

Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, *11*, 93–118. https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708

Gunes, R., Palabiyik, I., Toker, O. S., Konar, N., & Kurultay, S. (2019). Incorporation of defatted apple seeds in chewing gum system and phloridzin dissolution kinetics. *Journal of Food Engineering*, *255*(July 2018), 9–14. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.010

Halaliza, N., & Zulkifly, A. (2017). Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compound From Pineapple Skins: the Optimum Operating Condition and Comparison With Soxhlet Extraction. *Malaysian Journal of Analytical Science*, *21*(3), 690–699. https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2103-18

Heap, S., Ingram, J., Law, M., Tucker, A. J., & Wright, A. J. (2016). Eight-day consumption of inulin added to a yogurt breakfast lowers postprandial appetite ratings but not energy intakes in young healthy females: a randomised controlled trial. *The British Journal of Nutrition*, *115*(2), 262–270. https://doi.org/10.1017/S0007114515004432

Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(46), 16569–

16572. https://doi.org/10.1073/PNAS.0507655102/ASSET/8BAD4608-B7BF-4215-8D0A-5C29F690AE48/ASSETS/GRAPHIC/ZPQ0420598740002.JPEG

Hurtado, P. D., Rodriguez, V. S., Garcia, M. C., Restrepo, L. M., & Restrepo, I. M. (2020). Neuromarketing: Its current status and research perspectives. *Journal of Management and Economics for Iberoamerica*, *36*(157), 525–539. https://doi.org/https://doi.org/10.18046/j.estger.2020.157.3890

Hussain, S., Jõudu, I., & Bhat, R. (2020). Dietary Fiber from Underutilized Plant Resources—A Positive Approach for Valorization of Fruit and Vegetable Wastes. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 5401*, *12*(13), 5401. https://doi.org/10.3390/SU12135401

Ibarra-Cantún, D., Ramos-Cassellis, M. E., Sánchez-Arzubide, M. G., Castelán-Vega, R. del C., & Marín-Castro, M. A. (2022). Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de la fermentación en estado sólido de bagazo de manzana (Malus domestica Borkh., var. panochera). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *23*(2). https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL23_NUM2_ART:2103

Imran, M., Butt, M. S., Akhtar, S., Riaz, M., Iqbal, M. J., & Suleria, H. A. R. (2016). Quantification of Mangiferin by High Pressure Liquid Chromatography; Physicochemical and Sensory Evaluation of Functional Mangiferin Drink. *Journal of Food Processing and Preservation*, *40*(4), 760–769. https://doi.org/10.1111/JFPP.12657

Isik, F., & Yapar, A. (2017). Effect of tomato seed supplementation on chemical and nutritional properties of tarhana. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(2), 667–674. https://doi.org/10.1007/S11694-016-9436-7

Ismail, T., Akhtar, S., Riaz, M., Hameed, A., Afzal, K., & Sattar Sheikh, A. (2016). Oxidative and Microbial Stability of Pomegranate Peel Extracts and Bagasse Supplemented Cookies.

Journal of Food Quality, *39*(6), 658–668. https://doi.org/10.1111/JFQ.12231

Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Nyam, K. L., Norulaini, N. A. N., Sahena, F., & Mohd Omar, A. K. (2015). Mango (Mangifera indica L.) by-products and their valuable components: a review. *Food Chemistry*, *183*, 173–180. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.03.046

Jamanca, N., & Alfaro, S. (2017). *Antioxidantes en los alimentos* (I. Gárate, T. Cruz, & L. Carrillo (eds.); Primera). https://www.academia.edu/94629866/Antioxidantes_en_los_alimentos

Jiménez-Moreno, N., Esparza, I., Bimbela, F., Gandía, L. M., & Ancín-Azpilicueta, C. (2019). Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *50*(20), 2061–2108. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694819

Jiménez, A. (2019, March 4). *Alimentos Funcionales y Nutracéuticos: Nuevas Tendencias en Alimentación | Innofood*. Innofood. https://www.innofood.es/nuevas-tendencias-en-alimentacion-alimentos-funcionales-y-nutraceuticos/

Juarez, C. E. (2021). *Una revisión de la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de cítricos procesados: Fermentación en estado sólido y métodos de extracción* [Universidad Nacional de Frontera]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNFS_f84d011447dc6db807d676061b7061e0

Juraj, Č., Cviková, P., Peter, H., Miroslava, K., Simona, K., Lukáš, H., Marek, B., Lenka, T., Bučko, O., & Jana, T. (2017). The proteins degradation in dry cured meat and methods of analysis: A review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *7*(2), 209–220. https://doi.org/10.15414/JMBFS.2017.7.2.209-220

Kaderides, K., Mourtzinos, I., & Goula, A. M. (2020). Stability of pomegranate peel polyphenols encapsulated in orange juice industry by-product and their incorporation in cookies. *Food Chemistry*, *310*, 125849. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125849

Kainat, S., Arshad, M. S., Khalid, W., Zubair Khalid, M., Koraqi, H., Afzal, M. F., Noreen, S., Aziz, Z., & Al-Farga, A. (2022). Sustainable novel extraction of bioactive compounds from fruits and vegetables waste for functional foods: a review. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 2457–2476. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2144884

Kehili, M., Choura, S., Zammel, A., Allouche, N., & Sayadi, S. (2018). Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chemistry*, *246*, 295–304. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.11.034

Kharchoufi, S., Parafati, L., Licciardello, F., Muratore, G., Hamdi, M., Cirvilleri, G., & Restuccia, C. (2018). Edible coatings incorporating pomegranate peel extract and biocontrol yeast to reduce Penicillium digitatum postharvest decay of oranges. *Food Microbiology*, *74*, 107–112. https://doi.org/10.1016/J.FM.2018.03.011

Kheirkhah, H., Baroutian, S., & Quek, S. Y. (2019). Evaluation of bioactive compounds extracted from Hayward kiwifruit pomace by subcritical water extraction. *Food and Bioproducts Processing*, *115*, 143–153. https://doi.org/10.1016/J.FBP.2019.03.007

Knoblich, M., Anderson, B., & Latshaw, D. (2005). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(7), 1166–1170. https://doi.org/10.1002/JSFA.2091

Kolev, N. (2022). Natural antioxidants – an alternative for reduction of nitrites in cooked meat products. *Food Science and Applied Biotechnology*, *5*(1), 64–76.

https://doi.org/10.30721/FSAB2022.V5.I1.167

Krupa-Kozak, U., Drabińska, N., Baczek, N., Šimková, K., Starowicz, M., & Jeliński, T. (2021). Application of Broccoli Leaf Powder in Gluten-Free Bread: An Innovative Approach to Improve Its Bioactive Potential and Technological Quality. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(4). https://doi.org/10.3390/FOODS10040819

Kumar, V., Chatli, M. K., Wagh, R. V., Mehta, N., & Kumar, P. (2015). Effect of the combination of natural antioxidants and packaging methods on quality of pork patties during storage. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(10), 6230. https://doi.org/10.1007/S13197-015-1734-2

Kumar, Yadav, A. N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, *4*(1), 1–14. https://doi.org/10.1186/S40643-017-0148-6

Kurt, Ş., & Ceylan, H. G. (2017). Effects of olive leaf extract on the oxidation stability and microbiological quality of dry fermented sausage (sucuk). *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, *9*(4), 178–188. https://www.researchgate.net/publication/322356423_Effects_of_olive_leaf_extract_on_the_oxidation_stability_and_microbiological_quality_of_dry_fermented_sausage_sucuk

Kwan, T. H., Hu, Y., & Lin, C. S. K. (2018). Techno-economic analysis of a food waste valorisation process for lactic acid, lactide and poly(lactic acid) production. *Journal of Cleaner Production*, *181*, 72–87. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.01.179

Lafarga, T., Gallagher, E., Bademunt, A., Viñas, I., Bobo, G., Villaró, S., & Aguiló-Aguayo, I. (2019). Bioaccessibility, physicochemical, sensorial, and nutritional characteristics of bread containing broccoli co-products. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(2),

e13861. https://doi.org/10.1111/JFPP.13861

Lasano, N. F., Hamid, A. H., Karim, R., Dek, M. S. P., Shukri, R., & Ramli, N. S. (2019). Nutritional Composition, Anti-Diabetic Properties and Identification of Active Compounds Using UHPLC-ESI-Orbitrap-MS/MS in Mangifera odorata L. Peel and seed kernel. *Molecules*, *24*(2). https://doi.org/10.3390/MOLECULES24020320

Lazo, O., & Ramírez, C. (2022, September). Aprovechamiento de bagazo de manzana para la extracción y aplicación de pectina de uso alimentario. *Frontera Biotecnológica*, 36–39. https://doi.org/2448-8461

Lebaka, V., Wee, Y.-J., Ye, W., & Korivi, M. (2021). *Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit*. https://doi.org/10.3390/ijerph18020741

Lee, Kim, T. K., Hwang, K. E., Choi, Y. J., Park, S. H., Kim, C. J., & Choi, Y. S. (2019). Kimchi extracts as inhibitors of colour deterioration and lipid oxidation in raw ground pork meat during refrigerated storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(6), 2735–2742. https://doi.org/10.1002/JSFA.9441

Lee, S. Y., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Choi, M. S., Ham, Y. K., Choi, Y. S., Lee, J. W., Lee, S. K., & Kim, C. J. (2015). Combined Effect of Kimchi Powder and Onion Peel Extract on Quality Characteristics of Emulsion Sausages Prepared with Irradiated Pork. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *35*(3), 277–285. https://doi.org/10.5851/KOSFA.2015.35.3.277

Ley 1990, 9 (2019). https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY 1990 DEL 02 DE AGOSTO DE 2019.pdf

Lim, K. J. A., Cabajar, A. A., Lobarbio, C. F. Y., Taboada, E. B., & Lacks, D. J. (2019).

Extraction of bioactive compounds from mango (Mangifera indica L. var. Carabao) seed kernel with ethanol-water binary solvent systems. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(5). https://doi.org/10.1007/S13197-019-03732-7

Liu, J. J., Gasmalla, M. A. A., Li, P., & Yang, R. (2016). Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *35*, 184–193. https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2016.05.002

Liu, Li, X., Zhao, P., Zhang, X., Qiao, O., Huang, L., Guo, L., & Gao, W. (2021). A review of chemical constituents and health-promoting effects of citrus peels. *Food Chemistry*, *365*. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130585

Lizárraga-Velázquez, C., & Hernández, C. (2018). Propiedades antioxidantes e inmunoestimulantes de polifenoles en peces carnívoros de cultivo. *CienciaUAT*, *12*(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100127

Lizarzaburu, J., & Baca, R. (2022). Revisión sistemática: Evaluación de los métodos para la generación de bioplásticos [Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111827

López-Astorga, M., Molina-Domínguez, C. C., Ovando-Martínez, M., & Leon-Bejarano, M. (2023). Orujo de Uva: Más que un Residuo, una Fuente de Compuestos Bioactivos. *Epistemus*, *16*(33), 115–122. https://doi.org/DOI: 10.36790/epistemus.v16i33.283

Lu, Z., Wang, J., Gao, R., Ye, F., & Zhao, G. (2019). Sustainable valorisation of tomato pomace: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, *86*, 172–187. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.02.020

Łubek-Nguyen, A., Ziemichód, W., & Olech, M. (2022). Application of Enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Natural Bioactive Compounds for Nutraceutical and

Pharmaceutical Applications. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(7). https://doi.org/10.3390/app12073232

Mahajan, D., Bhat, Z. F., & Kumar, S. (2015). Pomegranate (Punica granatum) rind extract as a novel preservative in cheese. *Food Bioscience*, *12*, 47–53. https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2015.07.005

Malik, J., & Mandal, S. C. (2022). Extraction of herbal biomolecules. In S. C. Mandal, A. K. Nayak, & A. K. Dhara (Eds.), *Herbal Biomolecules in Healthcare Applications* (pp. 21–46). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85852-6.00015-9

Mamani, J., & Molina, M. (2023). *Efecto de los métodos alternativos de extracción sobre el contenido de polifenoles totales, betalaínas y capacidad* [Universidad Nacional de Moquegua]. https://repositorio.unam.edu.pe/bitstreams/1affeb5a-2fd4-4515-900e-5392bca39ef5/download

Maner, S., Sharma, A. K., & Banerjee, K. (2017). Wheat Flour Replacement by Wine Grape Pomace Powder Positively Affects Physical, Functional and Sensory Properties of Cookies. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, *87*(1), 109–113. https://doi.org/10.1007/S40011-015-0570-5

Martínez-Castaño, M., Lopera-Idarraga, J., Pazmiño-Arteaga, J., & Gallardo-Cabrera, C. (2020). Evaluation of the behaviour of unripe banana flour with non-conventional flours in the production of gluten-free bread. *Food Science and Technology International = Ciencia y Tecnologia de Los Alimentos Internacional*, *26*(2), 160–172. https://doi.org/10.1177/1082013219873246

Martins, R., Barbosa, A., Advinha, B., Ventas, H., Pontes, R., & Nunes, J. (2023). Green extraction techniques of bioactive compounds: a state-of-the-art review. *Processes*, *11*(8).

https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr11082255

Mayo, C., & Tarapaqui, R. M. (2022). Biorrefinería para la extracción de pectina en los diversos subproductos de residuos orgánicos para reducir la contaminación ambiental: Revisión sistemática [Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111733

Maz-Machado, A., Jiménez-Fanjul, N. N., Villarraga-Rico, E., Maz-Machado, A., Jiménez-Fanjul, N. N., & Villarraga-Rico, E. (2016). La producción científica colombiana en SciELO: un análisis bibliométrico. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, *39*(2), 111–119. https://doi.org/10.17533/UDEA.RIB.V39N2A03

Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Sánchez-Contreras, Á., & Pacheco, N. (2017). Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. *Agronomic*, *7*(3), 47. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy7030047

Melini, V., Melini, F., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2020). Functional Ingredients from Agri-Food Waste: Effect of Inclusion Thereof on Phenolic Compound Content and Bioaccessibility in Bakery Products. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, *9*(12), 1–29. https://doi.org/10.3390/ANTIOX9121216

Melo-Guerrero, M. C., Ortiz-Jurado, D. E., & Hurtado-Benavides, A. M. (2020). Comparison of the composition and antioxidant activity of the chamomile essential oil (Matricaria chamomilla L.) obtained by supercritical fluids extraction and other green techniques. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales*, *44*(172), 845–856. https://doi.org/10.18257/RACCEFYN.862

Mena, M. (2021, September 29). *931 millones de toneladas de alimentos terminan en la basura*.

Statista. https://es.statista.com/grafico/24368/volumen-anual-estimado-de-alimentos-desperdiciados-en-los-hogares/

Meñaca, E., Restrepo, J., & Colmenares, A. J. (2018). Antioxidant activity of the inclusion complex of bixa orellana seeds extract in β-cyclodextrin obtained by supercritical CO2. *Vitae*, *25*(2), 83–91. https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v25n2a04

Mendoza Garnica, K. (2019). *Efecto del tipo de solvente sobre la concentración de compuestos bioactivos, saponinas y características físicas de extractos de hojas de guayaba (Psidium guajava L.) y aguacate (Persea americana Mill).* [Universidad Autónoma del Estado de México]. http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99169

Mestre, M., & Martínez, V. (2017). Desperdicio alimentario, análisis de una problemática poliédrica. *Papeles*, *139*, 93–103. www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/revista_papeles/139/Desperdicio-alimentario_M_MESTRE_V_MARTINEZ.pdf

Mir, S. A., Bosco, S. J. D., Shah, M. A., Santhalakshmy, S., & Mir, M. M. (2017). Effect of apple pomace on quality characteristics of brown rice based cracker. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *16*(1), 25–32. https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2015.01.001

Mohammadi-Sartang, M., Bellissimo, N., Totosy de Zepetnek, J. O., Brett, N. R., Mazloomi, S. M., Fararouie, M., Bedeltavana, A., Famouri, M., & Mazloom, Z. (2018). The effect of daily fortified yogurt consumption on weight loss in adults with metabolic syndrome: A 10-week randomized controlled trial. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases : NMCD*, *28*(6), 565–574. https://doi.org/10.1016/J.NUMECD.2018.03.001

Mojica, G. J., & Pérez, M. W. (2019). Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la

industria vinícola del valle de sáchica. *SENNOVA*, 1–116. https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5389?locale=es

Monterrosa, H. (2019, January 10). Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. *La República*. https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-11-6-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141

Moreira, R. V., Costa, M. P., Castro, V. S., Paes, C. E., Mutz, Y. S., Frasao, B. S., Mano, S. B., & Conte-Junior, C. A. (2019). Short communication: Antimicrobial activity of pequi (Caryocar brasiliense) waste extract on goat Minas Frescal cheese presenting sodium reduction. *Journal of Dairy Science*, *102*(4), 2966–2972. https://doi.org/10.3168/JDS.2018-15268

Morsy, M. K., Mekawi, E., & Elsabagh, R. (2018). Impact of pomegranate peel nanoparticles on quality attributes of meatballs during refrigerated storage. *LWT*, *89*, 489–495. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.11.022

Mostafa, H. S. (2021). Banana plant as a source of valuable antimicrobial compounds and its current applications in the food sector. *Journal of Food Science*, *86*(9), 3778–3797. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15854

Moudache, M., Colon, M., Nerín, C., & Zaidi, F. (2016). Phenolic content and antioxidant activity of olive by-products and antioxidant film containing olive leaf extract. *Food Chemistry*, *212*, 521–527. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.06.001

Muñoz, A., Vargas Rueda, S. J., Guerra, E. X., & Cervantes Díaz, M. (2021). Determinación del contenido total de flavonoides presentes en residuos agroindustriales de frutas tropicales. *Revista Agunkuyâa*, *11*(1), 28–35. https://doi.org/10.33132/27114260.1983

Mwaurah, P. W., Kumar, S., Kumar, N., Panghal, A., Attkan, A. K., Singh, V. K., & Garg, M. K. (2020). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and industrial applications of mango kernel and its products: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(5), 2421–2446. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12598

Nafiu, M. O., Hamid, A. A., Muritala, H. F., & Adeyemi, S. B. (2017). Preparation, Standardization, and Quality Control of Medicinal Plants in Africa. *Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential Against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases*, 171–204. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00007-8

Namir, M., Siliha, H., & Ramadan, M. F. (2015). Fiber pectin from tomato pomace: characteristics, functional properties and application in low-fat beef burger. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *9*(3), 305–312. https://doi.org/10.1007/S11694-015-9236-5

Natolino, A., & Da Porto, C. (2019). Supercritical carbon dioxide extraction of pomegranate (Punica granatum L.)seed oil: Kinetic modelling and solubility evaluation. *Journal of Supercritical Fluids*, *151*, 30–39. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.05.002

Natukunda, S., Muyonga, J. H., & Mukisa, I. M. (2015). Effect of tamarind (Tamarindus indica L.) seed on antioxidant activity, phytocompounds, physicochemical characteristics, and sensory acceptability of enriched cookies and mango juice. *Food Science & Nutrition*, *4*(4), 494–507. https://doi.org/10.1002/FSN3.311

Naviglio, D., Formato, A., Vitulano, Manuela Cozzolino, I., Ferrara, L., Zanoelo, F. del E., & Gallo, M. (2017). Comparison between the kinetics of conventional maceration and a cyclic pressurization extraction process for the production of lemon liqueur using a numerical model. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(2).

https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12350

Negrón-Díaz, A. C., Aguilar-Piloto, G., Moo-Huchin, V., Delgadillo-díaz, M., & Sauri-duch, E. (2023). Ultrasound-assisted extraction (UAE) of phenolic compounds from different Brosimum alicastrum tissues Extracción asistida por ultrasonidos (EAU) de compuestos fenólicos de diferentes tejidos de Brosimum alicastrum. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *3*(3659), 1–6. https://doi.org/10.19136/era.a10nIII.3659

Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2017). Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(15), 3243–3259. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1109498

Noce, A., Di Lauro, M., Di Daniele, F., Zaitseva, A. P., Marrone, G., Borboni, P., & Di Daniele, N. (2021). Natural Bioactive Compounds Useful in Clinical Management of Metabolic Syndrome. *Nutrients*, *13*(2), 1–37. https://doi.org/10.3390/NU13020630

Obafaye, R. O., & Omoba, O. S. (2018). Orange peel flour: A potential source of antioxidant and dietary fiber in pearl-millet biscuit. *Journal of Food Biochemistry*, *42*(4), e12523. https://doi.org/10.1111/JFBC.12523

Olfa, T., Gargouri, M., Akrouti, A., Brits, M., Gargouri, M., Ben Ameur, R., Pieters, L., Foubert, K., Magné, C., Soussi, A., & Allouche, N. (2021). A comparative study of phytochemical investigation and antioxidative activities of six citrus peel species. *Flavour and Fragrance Journal*, *36*(5), 564–575. https://doi.org/10.1002/FFJ.3662

ONU. (2021, March 4). *Se desperdicia 17% de todos los alimentos disponibles a nivel del consumidor*. ONU Programa Para El Medio Ambiente. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/onu-se-desperdicia-17-de-todos-los-alimentos-disponibles

Ordoñez-Torres, A., Torres-León, C., Hernández-Almanza, A., Flores-Guía, T., Luque-Contreras, D., Aguilar, C. N., & Ascacio-Valdés, J. (2021). Ultrasound-microwave-assisted extraction of polyphenolic compounds from Mexican "Ataulfo" mango peels: Antioxidant potential and identification by HPLC/ESI/MS. *Phytochemical Analysis*, *32*(4), 495–502. https://doi.org/10.1002/PCA.2997

Ordóñez, V. A. (2019). *Análisis del efecto de la α-Solanina en las características citomorfológicas de células vivas adheridas y su relación con la expresión del gen Shroom3* [Pontificia Universidad Javeriana]. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/42354

Ortega, N. (2020). *Exploración de nuevas fuentes de monoterpenos a partir de residuos agroalimentarios para su transformación en compuestos con aplicaciones en el campo de aromas y fragancias* [Universitat de Lleida]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=301971

Ortiz, L., Dorta, E., Gloria Lobo, M., González-Mendoza, L. A., Díaz, C., & González, M. (2017). Use of Banana (Musa acuminata Colla AAA) Peel Extract as an Antioxidant Source in Orange Juices. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, *72*(1), 60–66. https://doi.org/10.1007/S11130-016-0591-0

Otálora-Orrego, D., & Martin, D. A. (2020). Técnicas emergentes de extracción de β-caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (Daucus carota L.): una revisión. *Informador Técnico*, *85*(1), 83–106. https://doi.org/10.23850/22565035.2857

Ou, J., Wang, M., Zheng, J., & Ou, S. (2019). Positive and negative effects of polyphenol incorporation in baked foods. *Food Chemistry*, *284*, 90–99. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.01.096

Ozvural. (2019). Fabrication of olive leaf extract and hazelnut skin incorporated films to improve

the quality of nuggets during refrigerated and deep freeze storage. *British Poultry Science*, *60*(6), 708–715. https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1656799

Padalino, L., Conte, A., Lecce, L., Likyova, D., Sicari, V., Pellicanò, T. M., Poiana, M., & Del Nobile, M. A. (2017). Functional pasta with tomato by-product as a source of antioxidant compounds and dietary fibre. *Czech Journal of Food Sciences*, *35*(1), 48–56. https://doi.org/10.17221/171/2016-CJFS

Palacio, E., Arroyave, J. D., Cardona, M., Hurtado, J. H., & Girón, J. (2018). Extracción de glucósidos de stevia rebaudiana (bertoni) a partir de tecnologías de extracción verdes. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *10*(1), 43–56. https://doi.org/10.22490/21456453.2336

Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., Nicorescu, V., & Stefan, G. (2017). Plant Polyphenols as Antioxidant and Antibacterial Agents for Shelf-Life Extension of Meat and Meat Products: Classification, Structures, Sources, and Action Mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(6), 1243–1268. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298

Pateiro, M., Gómez-Salazar, J. A., Jaime-Patlán, M., Sosa-Morales, M. E., & Lorenzo, J. M. (2021). Plant Extracts Obtained with Green Solvents as Natural Antioxidants in Fresh Meat Products. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, *10*(2), 1–21. https://doi.org/10.3390/ANTIOX10020181

Pathak, D., Majumdar, J., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). Characterization of physicochemical properties in whole wheat bread after incorporation of ripe mango peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *10*(3), 554–561. https://doi.org/10.1007/S11694-016-9335-Y

Patil, P. D., Patil, S. P., Kelkar, R. K., Patil, N. P., Pise, P. V., & Nadar, S. S. (2021). Enzyme-assisted supercritical fluid extraction: An integral approach to extract bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology, 116*, 357–369. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.07.032

Patra, A., Abdullah, S., & Pradhan, R. C. (2022). Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresources and Bioprocessing*, *9*(1), 1–25. https://doi.org/10.1186/S40643-022-00498-3

Peiretti, P. G., Gai, F., Zorzi, M., Aigotti, R., & Medana, C. (2020). The effect of blueberry pomace on the oxidative stability and cooking properties of pork patties during chilled storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*(7), e14520. https://doi.org/10.1111/JFPP.14520

Peker, H., & Arslan, S. (2017). Effect of Olive Leaf Extract on the Quality of Low Fat Apricot Yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(5), e13107. https://doi.org/10.1111/JFPP.13107

Peña-Torres, E. F., González-Ríos, H., Avendaño-Reyes, L., Valenzuela-Grijalva, N. V., Pinelli-Saavedra, A., Muhlia-Almazán, A., & Peña-Ramos, E. A. (2019). Ácidos hidroxicinámicos en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *10*(2), 391–415. https://doi.org/10.22319/RMCP.V10I2.4526

Peña, M. A. (2018). *Aprovechamiento del residuo sólido de la cáscara de Passiflora Edulis sims f. edulis* [Universidad de los Andes]. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/4ed7fcea-19f8-4798-bfc6-44f78d09adba/content

Peng, D., Zahid, H. F., Ajlouni, S., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2019). *LC-ESI-QTOF/MS Profiling of Australian Mango Peel By-Product Polyphenols and Their Potential Antioxidant Activities*. https://doi.org/10.3390/pr7100764

Plazzotta, S., Sillani, S., & Manzocco, L. (2018). Exploitation of lettuce waste flour to increase bread functionality: effect on physical, nutritional, sensory properties and on consumer response. *International Journal of Food Science & Technology*, *53*(10), 2290–2297. https://doi.org/10.1111/IJFS.13820

Pleissner, D. (2016). Decentralized utilization of wasted organic material in urban areas: A case study in Hong Kong. *Ecological Engineering*, *86*, 120–125. https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2015.11.021

Pranckute, R. (2021). *Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World*. *9*(12). https://sci-hub.se/10.3390/publications9010012

Preciado, A., Ruiz, J., Villegas, M., Domínguez, A., & González, G. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnologia Postcosecha*, *23*(2), 92–99. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798002

Previtera, L., Fucci, G., De Marco, A., Romanucci, V., Di Fabio, G., & Zarrelli, A. (2016). Chemical and organoleptic characteristics of tomato purée enriched with lyophilized tomato pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(6), 1953–1958. https://doi.org/10.1002/JSFA.7303

Prokopov, T., Chonova, V., Slavov, A., Dessev, T., Dimitrov, N., & Petkova, N. (2018). Effects on the quality and health-enhancing properties of industrial onion waste powder on bread.

Journal of Food Science and Technology, *55*(12), 5091–5097. https://doi.org/10.1007/S13197-018-3448-8

Pulido, Q. L., & Núñez, A. A. (2021). *Evaluación de estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos en Colombia durante el periodo 2006-2020*. Unidades Tecnologicas de Santander. http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/7354

Quiles, A., Campbell, G. M., Struck, S., Rohm, H., & Hernando, I. (2018). Fiber from fruit pomace: A review of applications in cereal-based products. *Food Reviews International*, *34*(2), 162–181. https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261299

Quishpe, T. S. M. (2019). *Obtención de un extracto vegetal de la Ortiga mayor (urtica dioica) aplicando el método de maceración en frío para la elaboración de Queso fresco* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8520/1/PC-000675.pdf

Rabelo, R. (2023). Bacterias y hongos utilizados en la biodegradación de hidrocarburos. *Revista EIA*, *20*(39). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8721230#:~:text=Conclusión%3A Algunos de las bacterias nativos que biodegradan,Fusarium. Para levaduras son Candida%2C Yarrowia y Pichia.

Rafiq, S., Kaul, R., Sofi, S. A., Bashir, N., Nazir, F., & Ahmad Nayik, G. (2018). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *17*(4), 351–358. https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2016.07.006

Rahayu, P. P., Rosyidi, D., & Thohari, I. (2019). Characteristics of catechin extracted from cocoa husks using microwave assisted extraction (MAE). *Biodiversitas*, *20*(12), 3626–3631. https://doi.org/10.13057/biodiv/d201222

Rajesh, Y., Khan, N. M., Raziq Shaikh, A., Mane, V. S., Daware, G., & Dabhade, G. (2022). Investigation of geranium oil extraction performance by using soxhlet extraction. *Materials Today: Proceedings*, *72*(August), 2610–2617. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.276

Ramírez-Osorio, L. J., Villaruel-Lopez, A., Villagrán, Z., & Anaya-Esparza, L. M. (2022). Residuos alimenticios: fuente de componentes bioactivos para la elaboración de alimentos funcionales. *Acta de Ciencia En Salud*, *6*(16), 17–26. https://doi.org/10.32870/ACS.V0I16.108

Ranjha, M. M. A. N., Kanwal, R., Shafique, B., Arshad, R. N., Irfan, S., Kieliszek, M., Kowalczewski, P. Ł., Irfan, M., Khalid, M. Z., Roobab, U., & Aadil, R. M. (2021). A critical review on pulsed electric field: A novel technology for the extraction of phytoconstituents. *Molecules*, *26*(16). https://doi.org/10.3390/molecules26164893

Rather, S. A., Akhter, R., Masoodi, F. A., Gani, A., & Wani, S. M. (2015). Utilization of apple pomace powder as a fat replacer in goshtaba: a traditional meat product of Jammu and Kashmir, India. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *9*(3), 389–399. https://doi.org/10.1007/S11694-015-9247-2

Reche, C. (2018). *Extracción acústica de biocompuestos de subproductos de la alcachofa. efecto de la temperatura* . [Universitat de les lles Balears]. https://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/149246

Reinoso, Y., Robert, P., Ortiz, J., Echeverría, F., & Sanhueza, L. (2023). P363/s6-p42 desarrollo de un ingrediente funcional mediante extracción asistida por ultrasonido y microencapsulación con quitosano de residuos de arándanos var. Legacy. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *73*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.37527/2023.73.S1

Ricarte, G. N., Coelho, M. A. Z., Marrucho, I. M., & Ribeiro, B. D. (2020). Enzyme-assisted

extraction of carotenoids and phenolic compounds from sunflower wastes using green solvents. *3 Biotech*, *10*(9), 1–11. https://doi.org/10.1007/s13205-020-02393-0

Robertson, R. C., Gracia Mateo, M. R., O'Grady, M. N., Guihéneuf, F., Stengel, D. B., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., Kerry, J. P., & Stanton, C. (2016). An assessment of the techno-functional and sensory properties of yoghurt fortified with a lipid extract from the microalga Pavlova lutheri. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *37*, 237–246. https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2016.03.017

Rodrigues, A. S., Kubota, E. H., da Silva, C. G., dos Santos Alves, J., Hautrive, T. P., Rodrigues, G. S., & Campagnol, P. C. B. (2020). Banana inflorescences: A cheap raw material with great potential to be used as a natural antioxidant in meat products. *Meat Science*, *161*, 107991. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2019.107991

Rodríguez-Martínez, B., Gullón, B., & Yáñez, R. (2021). Identification and Recovery of Valuable Bioactive Compounds from Potato Peels: A Comprehensive Review. *Antioxidants 2021, Vol. 10, Page 1630*, *10*(10), 1630. https://doi.org/10.3390/ANTIOX10101630

Rodríguez. (2022). *Las verduras, los alimentos que más se desperdician en Colombia*. Portafolio. https://www.portafolio.co/economia/finanzas/las-verduras-los-alimentos-que-mas-se-desperdician-en-colombia-572014

Rodríguez, Reyes, M., Rivera, G., Espinosa, L., Palos, I., & Bocanegra, V. (2016). *Alimentos funcionales y nutracéutico*. https://www.researchgate.net/profile/Norma-Flores-Martinez/

Rodríguez, S. L., & Raghavan, V. (2022). Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *62*(23), 6446–6466. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1901651

Rojas, A. F., Flórez, C., & López, D. (2019). Use prospects of some agroindustrial waste. *Revista*

Cubana de Química, *31*(1), 30–52. https://www.redalyc.org/journal/4435/443558027003/html/

Rojas, Campos, M., Contreras-López, S., & Muñoz-Jáuregui, A. (2018). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de sanki (Corryocactus brevistylus). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *85*(2), 258–267. https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.82

Román, M., Rivera, C., Cardona, L., Muñoz, L., Gomez, D., Passaro, C., & Quiceno, J. M. (2016). Guia de Extracción por Fluidos Super criticos: Fundamentos y Aplicaciones. *Tecnoparque*, *1*, 48. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4698/guia_extraccion_fluidos_super criticos.pdf?sequence=1

Rosales, R. M. J., & Vílchez, O. R. D. (2022). *Importancia de las propiedades nutraceuticas del esparrago (Asparagus Officinalis) en la alimentación humana* [Universidad Nacional de Frontera]. https://repositorio.unf.edu.pe/items/dbaebea9-25ca-4eee-85f1-9791cba188fd

Ruales, S. A., Rojas, A., & Cardona, C. (2017). Obtención de compuestos fenólicos a partir de residuos de uva isabella (Vitis labrusca). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *2*, 72–79. http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe2/1692-3561-bsaa-15-spe2-00072.pdf

Rubiano-Charry, K. D., Ciro-Velásquez, H. J., & Aristizabal-Torres, I. D. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Rev. Udca Actual. Divulg. Cient*, *22*(2), e1078–e1078. https://doi.org/10.31910/RUDCA.V22.N2.2019.1078

Safdar, M. N., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Saddozai, A. A. (2017).

Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (Citrus reticulate L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, *25*(3), 488–500. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010

Safdar, M. N., Kausar, T., & Nadeem, M. (2017). Comparison of ultrasound and maceration techniques for the extraction of polyphenols from the mango peel. Journal of Food Processing and Preservation, 41(4), e13028

Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *17*(3), 512–531. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330

Sagarika, N., Prince, M. V., Kothakota, A., Pandiselvam, R., Sreeja, R., & Mathew, S. M. (2018). Characterization and Optimization of Microwave Assisted Process for Extraction of Nutmeg (Myristica fragrans Houtt.) Mace Essential Oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *21*(4), 895–904. https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1517613

Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Effect of pineapple waste powder on probiotic growth, antioxidant and antimutagenic activities of yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(3), 1698–1708. https://doi.org/10.1007/S13197-015-2100-0

Sandhya, S., Khamrui, K., Prasad, W., & Kumar, M. C. T. (2018). Preparation of pomegranate peel extract powder and evaluation of its effect on functional properties and shelf life of curd. *LWT*, *92*, 416–421. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.02.057

Santillán-Urquiza, E., Méndez-Rojas, M. Á., & Vélez-Ruiz, J. F. (2017). Fortification of yogurt with nano and micro sized calcium, iron and zinc, effect on the physicochemical and

rheological properties. *LWT*, *80*, 462–469. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.03.025

Santos Lopes, L. dos, Puig, R., & Cantero Gómez, M. R. (2021). *Extracción de ácido clorogénico y cafeína a partir de posos de café* [Universitat de Lleida. Escola Politècnica Superior]. https://repositori.udl.cat/items/568eb387-2d5d-4adf-b081-262c039a6cc9/full

Santos, & Santana, L. C. L. de A. (2022). Conventional and emerging techniques for extraction of bioactive compounds from fruit waste. *Brazilian Journal of Food Technology*, *25*, 1–18. https://doi.org/10.1590/1981-6723.13021

Secinaro, S., Mas, F. D., Brescia, V., & Calandra, D. (2022). Blockchain in the accounting, auditing and accountability fields: a bibliometric and coding analysis. *Discover Journals, Books & Case Studies*, *35*(9), 168–2003. https://doi.org/10.1108/AAAJ-10-2020-4987

Selani, M. M., Shirado, G. A. N., Margiotta, G. B., Saldaña, E., Spada, F. P., Piedade, S. M. S., Contreras-Castillo, C. J., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2016). Effects of pineapple byproduct and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *Meat Science*, *112*, 69–76. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2015.10.020

Selvamuthukumaran, M., & Shi, J. (2017). Recent advances in extraction of antioxidants from plant by-products processing industries. *Food Quality and Safety*, *1*(1), 61–81. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx004

Shalaby, A. R., Anwar, M. M., & Sallam, E. M. (2018). Improving quality and shelf-life of minced beef using irradiated olive leaf extract. *Journal of Food Processing and Preservation*, *42*(11). https://doi.org/10.1111/JFPP.13789

Sharan, P., & Madan, V. K. (2018). Supercritical carbon dioxide as greener solvent of 21st century. *Asian Journal of Chemistry*, *30*(4), 719–723. https://doi.org/10.14233/ajchem.2018.21150A

Silva, P., Pinheiro, A., Rodríguez, L., & Figueroa, V. (2016). Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *66*(11), 17–25. https://www.researchgate.net/publication/355379016_Fuentes_naturales_de_fitoesteroles_y_factores_de_produccion_que_lo_modifican

Solarte, A. D. (2020). Optimización del proceso de extracción de inositoles asistido por microondas (EAM) a partir de alfalfa (Medicago sativa L.) [Universidad del Cauca]. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*. http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/handle/123456789/2459

Sorrenti, V., Bur, I., & Consoli, V. (2023). Recent Advances in Health Benefits of Bioactive Compounds from Food Wastes and By-Products : Biochemical Aspects. *Molecular Sciences*, *28*(1), 26. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ ijms24032019

Stajčić, S., Ćetković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Mandić, A., & Četojević-Simin, D. (2015). Tomato waste: Carotenoids content, antioxidant and cell growth activities. *Food Chemistry*, *172*, 225–232. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.09.069

Strati, I. F., & Oreopoulou, V. (2011). Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. *International Journal of Food Science & Technology*, *46*(1), 23–29. https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2010.02496.X

Sudha, M. L., Indumathi, K., Sumanth, M. S., Rajarathnam, S., & Shashirekha, M. N. (2015). Mango pulp fibre waste: characterization and utilization as a bakery product ingredient. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *9*(3), 382–388. https://doi.org/10.1007/S11694-015-9246-3

Surco-Laos, F., Garcia, J. A., Bendezú, M. R., Alvarado, A. T., Laos-Anchante, D., Valle-

Campos, M., Panay-Centeno, J. F., Palomino-Jhong, J. J., Yarasca-Carlos, P. E., Muñoz, A. M., Bolarte-Arteaga, M., Pineda, M., & Loja, B. (2023). Characterization of polyunsaturated fatty acids and antioxidant activity of Vitis vinifera L. (grape) seeds from the Ica Valley, Peru. *Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research*, *11*(2), 270–280. https://doi.org/10.56499/JPPRES23.1575_11.2.270

Szabo, K., Cătoi, A. F., & Vodnar, D. C. (2018). Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, *73*(4), 268–277. https://doi.org/10.1007/S11130-018-0691-0

Talmaciu, A., Volf, I., & Popa, V. (2015). Un análisis comparativo de las técnicas "verdes" aplicadas para la extracción de polifenoles de recursos biológicos. *Chemistry y Biodiversity*, *12*(11), 1635–1651. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cbdv.201400415

Tavakoli, H., Hosseini, O., Jafari, S. M., & Katouzian, I. (2018). Evaluation of Physicochemical and Antioxidant Properties of Yogurt Enriched by Olive Leaf Phenolics within Nanoliposomes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(35), 9231–9240. https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.8B02759

Tesfaye, B., & Tefera, T. (2017). Extraction of Essential Oil from Neem Seed by Using Soxhlet Extraction Methods. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, *3*(6), 646–650. https://doi.org/10.24001/IJAEMS.3.6.5

Tlais, A. Z. A., Fiorino, G. M., Polo, A., Filannino, P., & Cagno, R. Di. (2020). High-Value Compounds in Fruit, Vegetable and Cereal Byproducts: An Overview of Potential Sustainable Reuse and Exploitation. *Molecules 2020, Vol. 25, Page 2987*, *25*(13), 2987. https://doi.org/10.3390/MOLECULES25132987

Tocmo, R., Pena-Fronteras, J., Calumba, K. F., Mendoza, M., & Johnson, J. J. (2020). Valorization of pomelo (Citrus grandis Osbeck) peel: A review of current utilization, phytochemistry, bioactivities, and mechanisms of action. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(4), 1969–2012. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12561

Tolve, R., Cela, N., Condelli, N., Di Cairano, M., Caruso, M. C., & Galgano, F. (2020). Microencapsulation as a Tool for the Formulation of Functional Foods: The Phytosterols' Case Study. *Foods 2020, Vol. 9, Page 470*, *9*(4), 470. https://doi.org/10.3390/FOODS9040470

Tomás, V. (2018). La Bibliometría en la evaluación de la actividad científica. *Hospital a Domicilio*, *2*(4), 145–163. https://doi.org/10.22585/HOSPDOMIC.V2I4.51

Torbica, A., Belović, M., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Pestorić, M., Škrobot, D., & Dapčević Hadnadev, T. (2016). Nutritional, rheological, and sensory evaluation of tomato ketchup with increased content of natural fibres made from fresh tomato pomace. *Food and Bioproducts Processing*, *98*, 299–309. https://doi.org/10.1016/J.FBP.2016.02.007

Torres-Valenzuela, L. S., Serna-Jiménez, J. A., Pinto, V., & Vargas, D. (2020). Evaluation of conditions of ultrasound assisted extraction of yellow pitahaya peel bioactive compounds. *Revista Lasallista de Investigacion*, *17*(1), 70–83. https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a6

Torres, L. S. (2020). *Obtención de componentes bioactivos de residuos de la industria cafetera mediante disolventes supramoleculares* [Universidad de Córdoba]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=294020

Trigo, J. P., Alexandre, E. M. C., Saraiva, J. A., & Pintado, M. E. (2020). High value-added compounds from fruit and vegetable by-products - Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Critical Reviews in Food Science*

and Nutrition, *60*(8), 1388–1416. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1572588

Uddin, M. S., Ferdosh, S., Haque Akanda, M. J., Ghafoor, K., Rukshana, A. H., Ali, M. E., Kamaruzzaman, B. Y., Fauzi, M. B., Hadijah, S., Shaarani, S., & Islam Sarker, M. Z. (2018). Techniques for the extraction of phytosterols and their benefits in human health: a review. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, *53*(14), 2206–2223. https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1454472

Ujic, N. C., Šavikin, K., Jankovic, T., Pljevljakušic, D., Zdunic, G., & Ibric, S. (2016). Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique. *Food Chemistry*, *194*(1), 135–142. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.008

Usman, M., Ahmed, S., Mehmood, A., Bilal, M., Patil, P. J., Akram, K., & Farooq, U. (2020). Effect of apple pomace on nutrition, rheology of dough and cookies quality. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(9), 3244–3251. https://doi.org/10.1007/S13197-020-04355-Z

Valladares-Diestra, K., Vandenberghe, L. P., & Soccol, C. R. (2020). Oilseed Enzymatic Pretreatment for Efficient Oil Recovery in Biodiesel Production Industry: a Review. *Bioenergy Research*, *13*(4), 1016–1030. https://doi.org/10.1007/s12155-020-10132-9

Vargas, M. de L., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J. A., Toledo López, V. M., & Moo Huchin, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo Sum*, *26*(2), 1–11. https://doi.org/10.30878/CES.V26N2A6

Vázquez, Á. D., Vázquez-Cano, E., Montoro, M. R. B., & Meneses, E. L. (2019). Análisis bibliométrico del impacto de la investigación educativa en diversidad funcional y

competencia digital : Web of Science y Scopus. *Aula Abierta*, *48*(2), 147–155. https://doi.org/10.17811/RIFIE.48.2.2019.147-156

Velasco-Arango, V. A., Bernal-Martínez, A. A., Ordóñez-Santos, L. E., Hleap-Zapata, J. I., Velasco-Arango, V. A., Bernal-Martínez, A. A., Ordóñez-Santos, L. E., & Hleap-Zapata, J. I. (2020). Caracterización del epicarpio de guayaba (Psidium guajava L.) como alternativa natural para uso en productos alimenticios procesados. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *18*(2), 26–35. https://doi.org/10.18684/BSAA(18)26-36

Vidal, E., Sierra Ramírez, R., & Cruz Reina, L. J. (2022). Recuperación de compuestos fenólicos de la pulpa del café por medio de una percolación a través de un extractor Soxhlet en escala piloto. *Research Gate*, 1–12. https://doi.org/10.26507/paper.2312

Villamil, R., Robelto, G., Mendoza, M., Guzmán, M., Cortés, L., Méndez, C., & Giha, V. (2020). Desarrollo de productos lácteos funcionales y sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura. *Revista Chilena de Nutrición*, *47*(6), 1018–1028. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000601018

Vital, A. C. P., Santos, N. W., Matumoto-Pintro, P. T., da Silva Scapim, M. R., & Madrona, G. S. (2018). Ice cream supplemented with grape juice residue as a source of antioxidants. *International Journal of Dairy Technology*, *71*(1), 183–189. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12412

Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., Puente, L., Vivanco, D., Ardiles, P., Castillo, D., & Puente, L. (2021). Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes. *Revista Chilena de Nutrición*, *48*(4), 609–619. https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000400609

Vivero, A., Valenzuela B, R., Valenzuela B, A., Morales, G., Vivero S, A., Valenzuela B, R.,

Valenzuela B, A., & Morales, G. (2019). Palta: compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista Chilena de Nutrición*, *46*(4), 491–498. https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000400491

Vodnar, D. C., Calinoiub, L. F., Mitrea, L., Precup, G., Bindea, M., Pacurar, A. M., Szabo, K., & Stefanescu, B. E. (2019). A New Generation of Probiotic Functional Beverages Using Bioactive Compounds From Agro-Industrial Waste. *Functional and Medicinal Beverages: Volume 11: The Science of Beverages*, 483–528. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00015-7

Vojvodić, A., Šeremet, D., & Komes, D. (2020). Onion Solid Waste as a Potential Source of Functional Food Ingredients. *Bulletin of the Croatian Academy of Engineering*, *15*(3). https://www.semanticscholar.org/paper/Onion-Solid-Waste-as-a-Potential-Source-of-Food-Cebin-Šeremet/20938f0e78cf3c5c5a4f0da25c5960457bf55bed

Weggler, B. A., Gruber, B., Teehan, P., Jaramillo, R., & Dorman, F. L. (2020). Inlets and sampling. *Separation Science and Technology (New York)*, *12*, 141–203. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813745-1.00005-2

Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., Ma, H., & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *48*, 538–549. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2018.07.018

Westreicher, G. (2022). *Diccionario económico* . Economipedia. https://economipedia.com/definiciones

Wong-paz, J., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñiz-Márquez, D. B. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos

de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *23*, 1–11. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255

Wong-Paz, J., Muñiz-Márquez, D., Aguilar-Zárate, P., Ascacio-Valdés, J., Cruz, K., Reyes-Luna, C., Rodríguez, R., & Aguilar, C. (2017). Chapter 5 - Extraction of Bioactive Phenolic Compounds by Alternative Technologies,. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *In Handbook of Food Bioengineering* (pp. 229–252). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811521-3.00005-3.

Yalcin, E., Ozdal, T., & Gok, I. (2022). Investigation of textural, functional, and sensory properties of muffins prepared by adding grape seeds to various flours. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(5). https://doi.org/10.1111/JFPP.15316

Yasig, Q. O. M. (2019). *Obtención de un extracto vegetal de la ortiga mayor (urtica dioica) por maceración con calor para la elaboración de queso fresco.* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7757/1/PC-000676.pdf

Zain, N. M., & Nazeri, M. A. (2016). Antioxidant and Mineral Content of Pitaya Peel Extract obtained using Microwave Assisted Extraction (MAE). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *10*(17), 63–68. https://www.researchgate.net/publication/323709501_Antioxidant_and_Mineral_Content_of_Pitaya_Peel_Extract_obtained_using_Microwave_Assisted_Extraction_MAE

Zam, W. (2019). Effect of Alginate and Chitosan Edible Coating Enriched with Olive Leaves Extract on the Shelf Life of Sweet Cherries (Prunus avium L.). *Journal of Food Quality*, *2019*. https://doi.org/10.1155/2019/8192964

Zayed, A., Badawy, M. T., & Farag, M. A. (2021). Valorization and extraction optimization of Citrus seeds for food and functional food applications. *Food Chemistry*, *355*.

https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129609

Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, *123*(1), 321–335. https://doi.org/10.1007/S11192-020-03387-8

Živković, J., Šavikin, K., Janković, T., Ćujić, N., & Menković, N. (2018). Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from pomegranate peel using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, *194*(October 2017), 40–47. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.032

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Sage Journals*, *18*(3), 429–472. https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1094428114562629