

Técnicas de extracción y su selección según el compuesto bioactivo de interés en residuos de frutas y verduras. Una revisión.

Alex Javier Bacca Narvaez
Magister en Biotecnología Alimentaria
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Popayán,
Colombia.

Andrea Vásquez García
Docente Investigador maestría Biotecnología Alimentaria.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Palmira,
Colombia.

Ibeth Rodríguez
Docente Investigador maestría Biotecnología Alimentaria.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá D.C,
Colombia.

Johanna España Muñoz
Magister en Biotecnología Alimentaria.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Popayán,
Colombia.

Resumen

A nivel mundial, una quinta parte de todos los alimentos, principalmente frutas y verduras, disponibles para el consumo humano se pierden, y/o desperdician pese a que sus residuos son ricos en compuestos bioactivos de interés para diferentes industrias. Esta revisión busca facilitar la comprensión y selección de la técnica de extracción más adecuada, acorde al compuesto bioactivo de interés para el aprovechamiento de estos residuos, utilizando fuentes secundarias consultadas en Scopus y Web of Science (WoS), seleccionadas y organizadas con la herramienta Bibliometrix de R Studio. Los residuos de frutas y verduras son ricos en compuestos bioactivos que se extraen utilizando tecnologías convencionales o emergentes. Estas últimas (ultrasonido, microondas, fluidos supercríticos, campo eléctrico y enzimas), superan a las convencionales (Soxhlet, hidrodestilación y maceración) porque presentan métodos de extracción más eficientes, económicos y sostenibles. Para seleccionar la técnica de extracción más adecuada se debe considerar factores como: naturaleza del residuo, características del compuesto bioactivo, pureza, termosensibilidad y equilibrio entre eficiencia, tiempo y consumo de solventes. La investigación continua y la integración de tecnologías avanzadas serán fundamentales para optimizar estos procesos y maximizar el aprovechamiento de los residuos.

Palabras clave: Campo eléctrico pulsado, extracción asistida por enzimas, extracción asistida por microondas, extracción asistida por ultrasonido, extracción con fluidos supercríticos, fibra, fitoquímicos, polifenoles.

Citación sugerida:

Bacca, A. J., Vásquez, A., Rodríguez, I. & España, J. (2025). Técnicas de extracción y su selección según el compuesto bioactivo de interés en residuos de frutas y verduras. Una revisión. *Revista De Ciencias*, 28(1), e20214847. <https://doi.org/10.25100/rc.v28i1.14847>

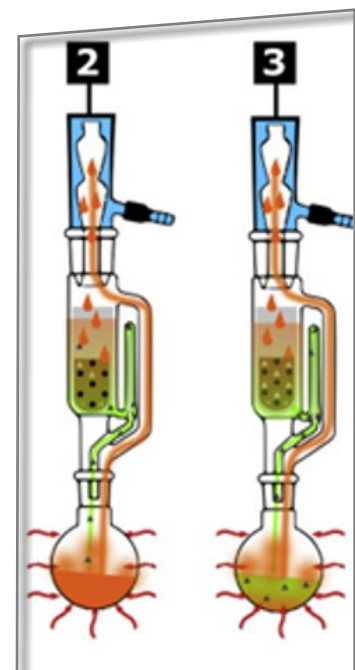
Recibido: 21-04-2025
Aceptado: 05-11-2025

ORCID Alex Javier Bacca
0000-0003-3961-6163

ORCID Andrea Vásquez
García
0000-0002-6387-3269

ORCID Ibeth Rodríguez
0000-0003-3312-3376

ORCID Johanna España
Muñoz
0009-0002-0537-1073



Extraction techniques and their selection according to the bioactive compound of interest in fruit and vegetable waste. A review.

Abstract

Worldwide, one-fifth of all food available for human consumption, mainly fruits and vegetables, is lost and/or wasted, despite their residues being rich in bioactive compounds of interest to various industries. This review aims to facilitate the understanding and selection of the most suitable extraction technique for the bioactive compound of interest, thereby valorizing these residues. The analysis was based on secondary sources from Scopus and Web of Science (WoS), selected and organized using the Bibliometrix tool in R Studio. Fruit and vegetable residues are rich in bioactive compounds that can be extracted using either conventional or emerging technologies. The latter (ultrasound, microwave, supercritical fluids, pulsed electric fields, and enzyme-assisted extraction) surpass conventional methods like (Soxhlet extraction, hydrodistillation, and maceration) by offering more efficient, economical, and sustainable extraction processes. To select the most appropriate extraction technique, factors such as the nature of the residue, characteristics of the bioactive compound, purity, heat sensitivity, and the balance between efficiency, time, and solvent consumption must be considered. Continued research and the integration of advanced technologies will be essential to optimize these processes and maximize the valorization of food residues.

Keywords: Pulsed electric field, enzyme assisted extraction, microwave-assisted extraction, ultrasound assisted extraction, supercritical fluid extraction, fiber, phytochemicals, polyphenols.

1. Introducción

Según datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el informe sobre el Índice de desperdicio de alimentos 2024 estima que aproximadamente una quinta parte de todos los alimentos disponibles para el consumo humano (1.050 millones de toneladas/año) se pierden en alguna de las etapas del ciclo de vida de los alimentos (60% en hogares, 28% proveedores de servicios alimentarios y 12% en el comercio minorista), esta pérdida genera hasta el 10% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) ⁽¹⁾. En Colombia, a pesar de la promulgación de la Ley 1990 de 2019, orientada a prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos, en 2024 se desperdició el 34% de los alimentos disponibles para consumo (9,7 millones de toneladas/año), de los cuales el 40% correspondió a frutas y verduras ^(2,3).

La mayoría de estos alimentos termina como basura, representando el 44% de la masa total de desechos sólidos municipales ⁽⁴⁾. Solo una pequeña proporción se aprovecha para alimentación animal, compostaje o producción de biogás ⁽⁵⁾. Sin embargo, el aprovechamiento adecuado de estos residuos podría contribuir al 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; 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 ^(6,7).

Basados en los principios de sostenibilidad global y bioeconomía, a nivel internacional se está buscando el aprovechar al máximo los compuestos bioactivos de interés y de bajo costo que se pueden extraer de los residuos de frutas y verduras (cáscaras, semillas, orujo, entre otros), ricos en fibras, vitaminas, minerales, ácidos grasos poliinsaturados y fitoquímicos (compuestos fenólicos, terpenicos, ornanosulfurados y nitrogenados) ⁽⁸⁾, de importancia en el desarrollo de alimentos funcionales al presentar actividades antioxidantes y antimicrobiana ^(9,10); como también

por sus efectos para la salud en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, cáncer, Alzheimer, Parkinson, cataratas, leucemia, hipertensión y en la formulación de antiinflamatorios, hipocolesterolémicos, hipolipidémicos e inmunomoduladores⁽⁹⁻¹³⁾. De igual manera, estas moléculas bajo procesos de biorrefinerías pueden ganar un valor agregado importante al transformarse en ácidos orgánicos, bioplásticos y biopolímeros, celulosa, quitina y quitosano, biosurfactantes, biolubricantes y nanopartículas^(4, 5, 14-16).

Las investigaciones de extracción de compuestos bioactivos de residuos de frutas y verduras se centran en cuatro grupos principales de residuos: (i) del tomate, (ii) del mango, (iii) generados por los cítricos y (iv) de otras frutas y verduras⁽⁸⁾. La obtención de compuestos bioactivos de una matriz vegetal se puede lograr utilizando una variedad de técnicas de extracción, considerando criterios como una alta selectividad en los procedimientos analíticos y los bioensayos, el grado de pureza del extracto de interés, las propiedades químicas y físicas del compuesto bioactivo, la ubicación de este (si está libre o ligado dentro de la célula), la reproducibilidad del método, su confiabilidad, así como la duración, accesibilidad tanto al equipo como a los reactivos y la rentabilidad del procedimiento^(17,18). En este contexto, se han desarrollado diversas técnicas de extracción, 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^(10, 17, 19-22).

Mediante la extracción por solventes se han extraído antioxidantes como carotenoides y polifenoles^(15,23), utilizando la extracción con fluidos supercríticos se han obtenido: catequina, epicatequina, flavonoides, polifenoles, procianidinas y tocoferoles^(20, 24), con extracción utilizando agua subcrítica se ha extraído: ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido cumárico, ácido ferúlico, ácido gálico y mangiferina^(20, 25), utilizando la extracción asistida por microondas: catequinas, mangiferina, componentes fenólicos, polifenoles, flavonoles y saponinas^(15, 22, 26), con la extracción mediante ultrasonido se han logrado extraer antocianinas, ácido clorogénico, catequinas, polifenoles, saponinas, flavonoides y β -glucano^(15, 21, 27) y mediante la extracción asistida por enzimas: alcaloides, ácido gálico, cumarinas, flavonoides, flavanoles, lectinas, licopeno, polifenoles y terpenoides^(19, 28, 29).

La mayoría de las investigaciones sobre las técnicas de extracción de compuestos bioactivos de residuos de frutas y verduras se centran en describir cada técnica y el compuesto bioactivo obtenido; sin embargo, no se cuenta con un documento de revisión que centre su atención en facilitar la comprensión y selección de la técnica de extracción más adecuada, según el compuesto bioactivo de interés. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue compilar las diferentes técnicas convencionales y emergentes para la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos de frutas y verduras, mediante la identificación de los principales compuestos bioactivos extraídos y en la escogencia de la técnica de extracción más adecuada, mediante diagramas y tablas comparativas.

La revisión se realizó seleccionando y analizando artículos científicos, artículos de revisión, capítulos de libros y documentos de sesión, publicados entre 2015 y 2023, en inglés y/o español, mediante la 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”)), en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS)⁽¹⁸⁻²⁰⁾. Para facilitar la selección y organización de los documentos de consulta se utilizó la herramienta Bibliometrix con R Studio 4.1, programas de código abierto desarrollado para analizar y filtrar los campos más importantes de la literatura científica en temas específicos⁽³⁰⁻³²⁾.

2. Compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras

Los residuos de frutas y verduras son ricos en diferentes compuestos bioactivos, entre los cuales sobresalen: fitoquímicos (compuestos fenólicos, terpénicos, organosulfurados y nitrogenados (alcaloides)), fibra, vitaminas, minerales y ácidos grasos poliinsaturados ^(8, 33, 34). A continuación, se describe cada uno.

2.1 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos tienen un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo ⁽³⁵⁾. Su concentración es mayor en los residuos de frutas y verduras que en la parte comestible, encontrando abundancia de ácidos fenólicos, flavonoides y taninos ^(10, 11). Son altamente estudiados por su capacidad para eliminar radicales libres y por prevenir reacciones oxidativas en los alimentos, lo que los convierte en una opción de reemplazo de conservantes sintéticos; además, tienen una excelente capacidad para prevenir el daño celular y oxidativo ⁽³⁶⁻³⁸⁾.

Los ácidos fenólicos (ácidos fenolcarboxílicos), generan interés por los beneficios en la salud en el tratamiento de enfermedades crónicas degenerativas y por atributos sensoriales de color, sabor y astringencia en el desarrollo de alimentos ⁽³⁵⁾. Se dividen en ácidos hidroxicinámicos y ácidos hidroxibenzoicos, siendo los primeros los más abundantes en residuos de frutas y verduras ⁽³⁹⁾. Los ácidos: cafeico, ferúlico sinápico y p-cumárico, representan a los ácidos hidroxicinámicos, mientras que los ácidos: p-hidroxibenzoico, vanílico y el protocatéquico representan a los ácidos hidroxibenzoicos ^(13, 40).

Los flavonoides presentan una estructura de 15 carbonos con dos anillos aromáticos, unidos con una cadena de tres carbonos, formando un anillo heterocíclico ⁽³⁵⁾. En residuos de frutas y verduras se encuentran: flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas, flavonoles y antocianinas, como principales representantes de este grupo ⁽⁴¹⁻⁴⁴⁾.

Presentan una excelente capacidad antioxidante al ser agentes reductores y extintores de hidrógeno, actúan como protectores contra enfermedades inflamatorias, cáncer e hipertensión y poseen una alta actividad antimicrobiana al formar complejos con proteínas extracelulares solubles y la pared celular de los microorganismos ^(12, 45, 46).

Por otra parte, los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua, que forman precipitados insolubles al interactuar con soluciones acuosas de proteína ⁽³⁵⁾. Se dividen en galotaninos, elagitaninos, taninos complejos y taninos condensados, siendo la catequina y la epicatequina los taninos condensados más estudiados en residuos de frutas y verduras ⁽⁴²⁾. Por tener múltiples hidroxilos fenólicos, presentan una buena actividad antioxidante que reduce la concentración de radicales libres, de igual manera, presentan inhibición de la actividad enzimática, precipitan proteína de membranas y favorecen el agotamiento de iones metálicos, potenciando así su actividad antimicrobiana, sin embargo, posee efectos aninutricionales que se deben estudiar ⁽⁴³⁾.

2.2 Compuestos terpénicos

Entre los compuestos terpénicos se encuentran carotenoides, fitosteroles, tocoferoles, betalainas, monoterpenos y saponinas ⁽³⁵⁾. Los carotenoides son pigmentos presentes en los cloroplastos y cromoplastos de frutas y verduras ^(41, 47). Se dividen en carotenos y xantofilas que difieren sólo en su contenido de oxígeno ⁽³⁵⁾. Como ejemplo de carotenos podemos mencionar a los β -caroteno y α -carotenos presentes en la zanahoria y mango y el licopeno presente en tomate, pomelo, sandía y papaya. Como ejemplo de xantofilas podemos citar a la β -criptoxantina presentes

en frutas como naranjas, mandarinas y papaya y a la luteína y la zeaxantina que se encuentran en las hojas verdes oscuras de vegetales ^(38, 47, 48).

Los carotenoides despiertan interés al ser precursores de la vitamina A, además por su estructura doble de enlaces conjugados presenta una buena reactividad química que suprime el daño causado por los radicales libres; disminuyendo el riesgo de desarrollar cáncer, la formación de cataratas y mejora las funciones del sistema inmunológico y la deficiencia de vitamina A ^(47, 49).

Los fitoesteroles se encuentran en casi todos los vegetales y en una mayor proporción en semillas oleaginosas, aceites, cereales, legumbres y frutos secos ⁽⁵⁰⁾. Son ampliamente estudiados porque mantienen y reducen los niveles de colesterol total y de colesterol de baja densidad (colesterol-LDL), sin reducir el nivel del colesterol de alta densidad (colesterol-HDL), como ejemplos están el campesterol, estigmasterol y sitosterol ^(41, 51).

Los tocoferoles son vitaminas liposolubles, que por lo general se encuentran asociadas a los componentes lipídicos de las paredes celulares, siendo su principal representante la vitamina E ⁽⁵²⁾. Presentan propiedades anticancerígenas de alta importancia, asociadas a su acción antioxidante con alto poder de neutralizar radicales libres ⁽²⁰⁾. Como principales fuentes de tocoferol y vitamina E se encuentran las almendras, las avellanas, el maní, las semillas de aceites vegetales como el maíz, el girasol o la soya y vegetales como espinaca y brócoli ⁽⁵³⁾.

Las betalainas (derivados del ácido betalámico), se clasifican en: betaxantinas responsables de colores amarillos – anaranjados y betacianinas responsables de colores rojo – púrpura en raíces, tallos, hojas, flores, semillas, frutos y cáscaras; de igual manera, estos compuestos terpénicos también poseen capacidad antioxidante ⁽⁵⁴⁾.

Por otra parte, las saponinas se encuentran en plantas del género *Asparagus*, siendo las responsables del sabor amargo – dulce característico ⁽⁵⁵⁾. Disminuyen el colesterol LDL en humanos y animales, por lo que son útiles en el control de la obesidad, hiperglucemia, hiperlipidemia e hipercolesterolemia ⁽⁵⁶⁾.

2.3 Compuestos organosulfurados

Los compuestos organosulfurados son biomoléculas que contienen azufre, por lo que se los conoce también como compuestos azufrados ⁽³⁵⁾. En ajo, puerro y cebolla se encuentra la alicina y otros compuestos organosulfurados que aportan el sabor picante, en coliflor y brócoli el sulforafano y en pimientos y brócoli la cisteína ⁽⁵⁷⁾. El compuesto organosulfurado más estudiado es el isotiocianato sulforafano (glucosinolato fruto de la hidrólisis de la glucorafanina), presente en los residuos del brócoli, ya que, posee actividades antioxidantes, antiinflamatorias y efecto antiproliferativo ⁽⁵⁸⁾. Los compuestos organosulfurados poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias ⁽⁵⁹⁾.

2.4 Compuestos nitrogenados

Los compuestos nitrogenados, como los glicoalcaloides, contienen nitrógeno en su estructura química ⁽³⁵⁾ y son biológicamente muy activos, presentando toxicidad incluso en cantidades muy bajas ⁽⁶⁰⁾. Un ejemplo destacado es la solanina, un glicoalcaloide presente en varias especies de la familia Solanaceae, especialmente en la papa (*Solanum tuberosum*), donde junto con la α -chaconina representa más del 95 % del contenido total de glicoalcaloides ⁽⁶¹⁾.

Por su parte, los tomates verdes contienen α -tomatina, un glicoalcaloide estructuralmente relacionado con la solanina. Durante el proceso de maduración, la α -tomatina se convierte en esculósido A, un compuesto no tóxico. Sin embargo, el consumo de tomates verdes inmaduros puede introducir cantidades significativas de α -tomatina en la dieta ⁽⁶²⁾.

2.5 Fibra

La fibra (fibra dietética) es un polisacárido no amiláceo, resistente a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, y con fermentación completa o parcial en el intestino grueso ⁽³⁵⁾. La fibra contenida en los residuos de frutas y verduras ofrecen múltiples beneficios para la salud, destacando su capacidad para mejorar la función intestinal, reducir el riesgo de enfermedades cardíacas y disminuir la probabilidad de desarrollar diabetes tipo 2 ^(10, 12, 63)

2.6 Vitaminas y minerales

Los residuos de frutas y verduras representan una fuente valiosa de micronutrientes esenciales, incluyendo vitaminas liposolubles como A, E y K, y vitaminas hidrosolubles como la C, así como minerales con propiedades antioxidantes como calcio (Ca), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y selenio (Se). Estos compuestos bioactivos han sido ampliamente asociados con efectos beneficiosos para la salud humana, particularmente en el fortalecimiento del sistema inmunológico y la prevención de enfermedades crónicas ^(13, 37). Dentro de los vegetales de hoja verde, la col rizada y las espinacas destacan por su elevado contenido de vitamina K1 (filoquinona), alcanzando concentraciones de aproximadamente 565 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ y 255 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, respectivamente ⁽⁶⁴⁾. Por su parte, los cítricos como la naranja, mandarina, limón y pomelo aportan cantidades significativas de vitaminas C, A, B1, B2 y B6 ⁽⁶⁵⁾. En cuanto al perfil mineral, las naranjas y pomelos se caracterizan por su mayor contenido de hierro y cobre; adicionalmente, las naranjas son ricas en potasio, fósforo y manganeso, mientras que la lima constituye una fuente importante de calcio, zinc, sodio y, especialmente, potasio ⁽⁶⁶⁾. Las bayas, incluyendo fresas, frambuesas, grosellas, arándanos y moras, presentan una alta concentración de vitamina C y aportan minerales relevantes como potasio, hierro y calcio ⁽⁶⁷⁾.

2.7 Ácidos grasos poliinsaturados

Entre las grasas consideradas saludables se encuentran los ácidos grasos poliinsaturados. Estos ácidos grasos se encuentran en residuos de nueces, verduras y semillas, al igual que en aceites vegetales, siendo el omega-3 y omega-6 sus principales representantes ^(51, 68). Los omega-3 incluyen los ácido alfa-linolénico, eicosapentaenoico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico, mientras que en el omega-6 los ácidos linoleicos, gamma-linolénico, dihomo-gamma-linolénico, ácido adrenico y ácido araquidónico ^(37, 68).

Los ácidos poliinsaturados ofrecen múltiples beneficios para la salud que incluyen la reducción en los niveles de colesterol y triglicéridos, la presión arterial y la inflamación, previenen el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y facilitan la absorción de vitaminas liposolubles ⁽⁶⁸⁾.

3. Técnicas de extracción de compuestos bioactivos de residuos de frutas y verduras.

Las técnicas de extracción de compuestos bioactivos se dividen en técnicas convencionales y técnicas emergentes.

3.1 Técnicas convencionales

Las técnicas convencionales de extracción se basan en el uso de disolventes, calor o la combinación de ambos⁽¹⁰⁾. Entre las más comunes destacan: extracción Soxhlet, hidrodestilación y maceración. Aunque son ampliamente utilizadas para extraer compuestos bioactivos de residuos vegetales, presentan importantes limitaciones que incluyen la generación de residuos tóxicos difíciles de manejar y la posible desnaturalización de compuestos sensibles al calor, lo que afecta su rendimiento y calidad⁽⁶⁹⁾.

3.1.1 Extracción soxhlet

La extracción Soxhlet es un método tradicional empleado para obtener compuestos bioactivos de matrices vegetales, aunque fue diseñado originalmente para la extracción de lípidos⁽⁷⁰⁾. Consiste en la percolación continua de un disolvente caliente a través de una muestra pulverizada contenida en un dedal poroso, lo que permite la extracción eficiente de los analitos solubles⁽⁷¹⁾.

El proceso opera en ciclos repetitivos donde el disolvente, tras evaporarse y condensarse, percola sobre la muestra y posteriormente es sifonado de regreso al matraz de destilación, evitando la saturación del disolvente y mejorando la eficiencia de extracción^(72,73). En la figura 1 se muestra el esquema de la extracción Soxhlet.

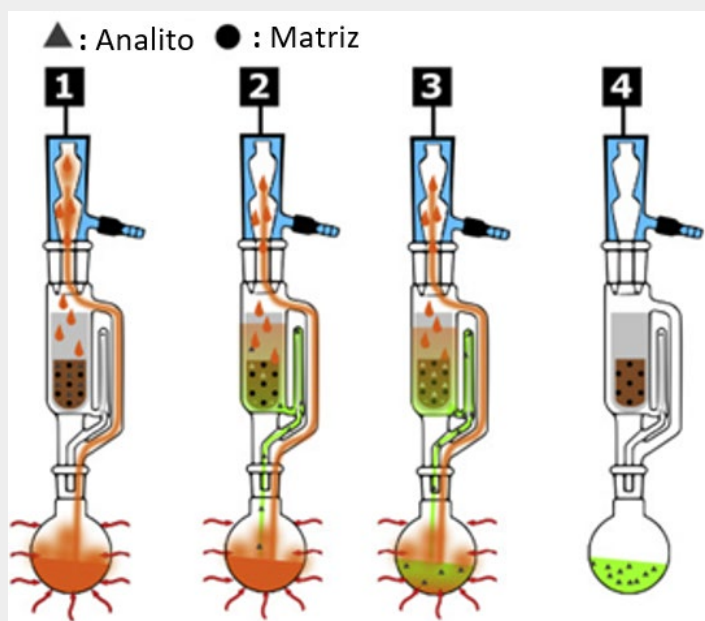


Figura 1. Esquema extracción Soxhlet⁽⁷⁴⁾. 1) La muestra sólida se coloca en el dedal. Mediante reflujo es calentado el disolvente. 2) El solvente se condensa y comienza a extraer. El analito es transferido al depósito de extracción. 3) Repetición del proceso de extracción. 4) Extracción completada.

Los parámetros críticos en esta técnica incluyen la solubilidad del compuesto de interés, las características de la matriz vegetal, la transferencia de masa y la selección del disolvente adecuado⁽⁷⁵⁾. Su principal ventaja es el contacto repetido de la muestra con disolvente fresco y caliente, lo que favorece la transferencia de analitos y optimiza la recuperación del compuesto objetivo⁽⁷⁶⁾. Además, es una metodología estandarizada y ampliamente utilizada en pequeñas industrias⁽⁷⁷⁾. Sin embargo, presenta limitaciones como el uso exclusivo para compuestos termoestables, la posible degradación por calentamiento prolongado, la ausencia de agitación, el elevado consumo de disolvente y los tiempos de extracción extensos⁽⁷⁸⁻⁸⁰⁾.

En estudios recientes, se empleó Soxhlet para caracterizar el perfil lipídico de semillas de granada (*Punica granatum L.*), identificando ácidos grasos como el palmítico, esteárico y punícico ⁽⁸¹⁾. Asimismo, se utilizó esta técnica para la extracción de compuestos fenólicos de la pulpa de café, evaluando el efecto del solvente y la relación pulpa-solvente sobre el contenido de fenoles totales ⁽⁸²⁾. Esta información se puede ampliar en la tabla 1, la cual se refiere a técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y hortalizas.

3.1.2 Hidrodestilación

La hidrodestilación es una técnica tradicionalmente utilizada para la extracción de aceites esenciales y compuestos bioactivos volátiles. El proceso se basa en la mezcla del material vegetal con agua como disolvente. La mezcla se calienta hasta la ebullición, lo que permite que los compuestos volátiles se liberen de la matriz vegetal. Posteriormente, estos compuestos se condensan y fluyen hacia un separador, donde se recupera el analito de interés ^(70, 75). En la figura 2 se puede observar el esquema de montaje de esta técnica, la cual consta de cuatro procesos básicos: calentamiento, volatilización, condensación y separación ^(10, 72).

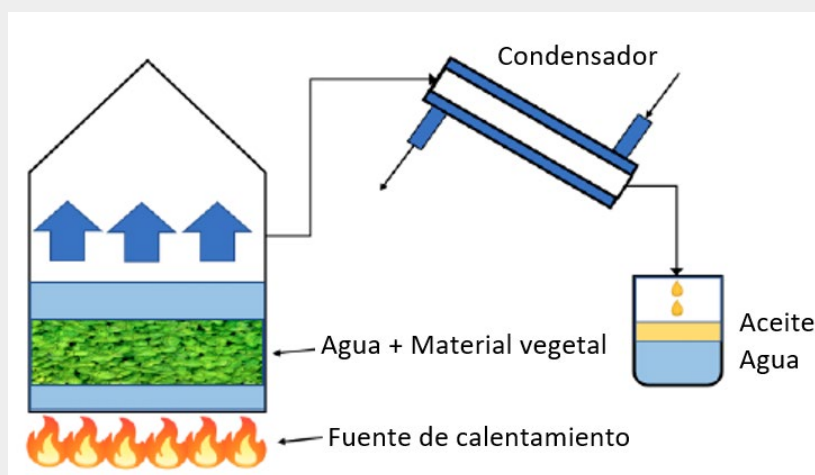


Figura 2. Esquema de montaje para hidrodestilación ⁽⁸³⁾.

Entre las principales ventajas de la hidrodestilación destacan su sencillez y facilidad de implementación en pequeñas industrias ^(72, 77). Sin embargo, presenta limitaciones importantes: la exposición prolongada a altas temperaturas puede causar la desnaturalización o pérdida de compuestos sensibles al calor ⁽⁷³⁾ y requiere largos tiempos de extracción para obtener rendimientos adecuados ^(10, 84).

En la tabla 1 se resumen algunas investigaciones realizadas mediante la extracción por hidrodestilación. En el 2022, se realizó la aplicación de ultrasonido en la extracción por hidrodestilación y microondas de aceite esencial de cáscara de limón (*Citrus aurantifolia*). El rendimiento de extracción aumentó del 1,92 % al 2,56 % tras el pretratamiento con microondas. El método combinado resultó más eficiente que la hidrodestilación convencional ⁽⁸⁵⁾. Colina-Márquez 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 ⁽⁸³⁾.

3.1.3 Maceración

La maceración es una técnica de extracción sólido-líquido ampliamente utilizada para obtener compuestos bioactivos. Consiste en la interacción entre una matriz sólida (material vegetal en polvo) y un solvente líquido, como agua o etanol, durante un tiempo determinado ^(73, 86). El objetivo

principal es ablandar y romper la pared celular para liberar fitoquímicos solubles. La elección del solvente es clave, ya que determina el tipo de compuesto extraído ⁽⁸⁷⁾. Existen diferentes tipos de maceración, cada uno con características específicas según el objetivo de la extracción:

Maceración en frío. Se sumerge el material vegetal en un solvente a temperatura ambiente y se deja reposar de horas a semanas ⁽⁸⁸⁾.

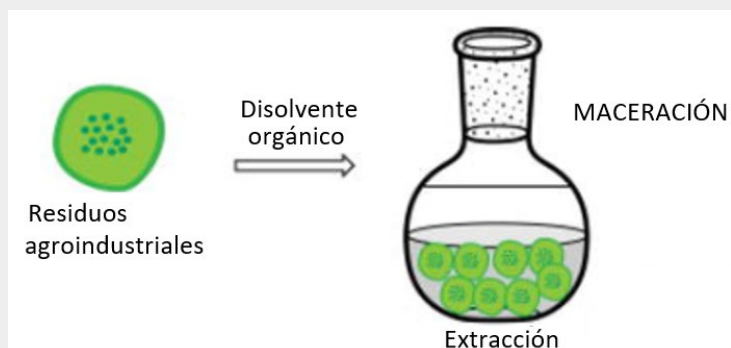


Figura 3. Representación esquemática de la maceración en frío ⁽⁷⁷⁾.

Este tipo de extracción tiene como ventaja que conserva compuestos termolábiles, no requiere equipos sofisticados, ideal para pequeñas industrias ⁽⁸⁹⁾. La principal desventaja es que los tiempos de extracción son prolongados debido a la difusión lenta ⁽⁸⁹⁾.

Maceración con calor. Se utiliza un líquido caliente (sin alcanzar la ebullición) para acelerar la extracción ⁽⁹⁰⁾, esta técnica se puede observar en la figura 4.

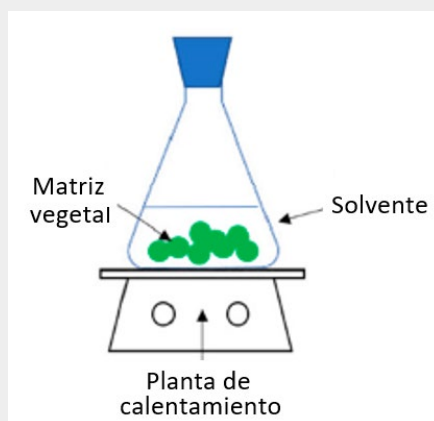


Figura 4. Representación esquemática de la maceración con calor ⁽⁹¹⁾.

La ventaja de este método es que reduce el tiempo de extracción, pero puede degradar compuestos bioactivos sensibles al calor, aunque puede mitigarse con extracción asistida por corriente de aire frío o vacío, lo que ayuda a disminuir la temperatura del sistema y preservar la estabilidad de los compuestos ⁽⁹⁰⁾.

Maceración dinámica. Se agita constantemente el sistema para mejorar la difusión de los compuestos y evitar la sobresaturación de la superficie del material en contacto con el solvente ⁽⁸⁹⁾. En la figura 5 se puede observar un sistema sencillo representativo de este tipo de maceración.

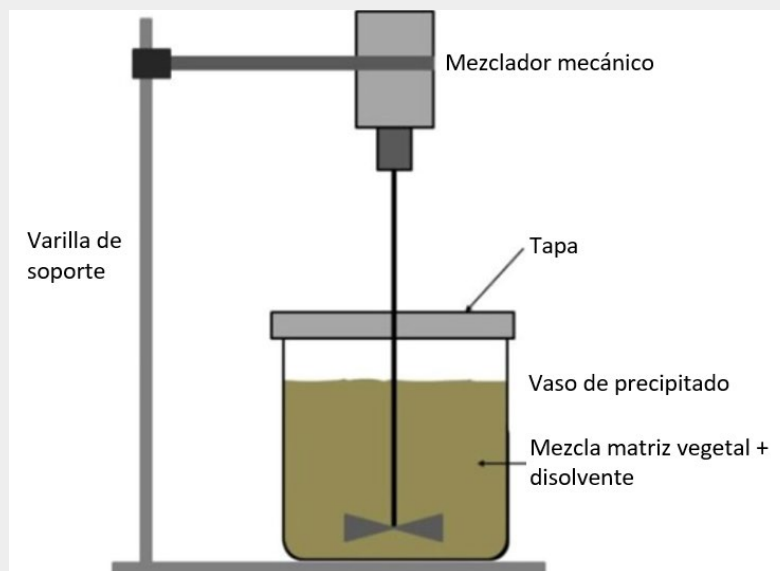


Figura 5. Representación esquemática de la maceración dinámica ⁽⁹²⁾.

La principal ventaja es que mejora la eficiencia del proceso y acelera la extracción, pero genera altos volúmenes de residuos y requiere grandes cantidades de disolvente ^(73, 87). Al término de la maceración, el extracto se filtra o centrifuga para separar el sobrenadante del residuo sólido, seguido de una concentración por evaporación para obtener el extracto final ⁽⁸⁰⁾.

La maceración es una técnica eficiente para extraer polifenoles y otros compuestos bioactivos, Ujic y colaboradores, utilizaron maceración tradicional para extraer polifenoles de *Aronia melanocarpa* e identificaron como principales antocianinas el cianidina-3-galactósido, cianidina-3-arabinósido y cianidina-3-glucósido. Los flavonoides dominantes fueron derivados de la quercetina, como quercetina-3-glucósido, quercetina-3-galactósido y quercetina-3-rutinósido ⁽⁹³⁾.

3.2 Técnicas emergentes

Las técnicas de extracción emergentes utilizan principios no térmicos para obtener compuestos bioactivos sin riesgo de degradación térmica, reduciendo el consumo de energía. Estas metodologías surgen como alternativa a las limitaciones de los métodos tradicionales, como la degradación de compuestos termolábiles, bajas eficiencias de extracción, alto uso de solventes, elevado gasto energético, tiempos prolongados y generación de residuos tóxicos ⁽⁹⁴⁾. A continuación, se describen las principales técnicas innovadoras aplicadas en este campo.

3.2.1 Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

La EAU es una técnica eficiente y sostenible para la extracción de compuestos bioactivos a partir de matrices vegetales, superando las limitaciones de los métodos convencionales ^(10, 95). Utiliza ondas ultrasónicas de alta frecuencia (20-100 kHz) que generan cavitación, un fenómeno donde las burbujas formadas en el líquido colapsan, produciendo fuerzas de corte, turbulencia y aumento local de temperatura y presión. Este proceso facilita la ruptura de las paredes celulares, mejorando la liberación y transferencia de compuestos bioactivos al solvente ^(96, 97).

La EAU consta de varias etapas las cuales se grafican en la figura 6: fragmentación del material vegetal, erosión por implosión de burbujas, sonocapilaridad y sonoporación para penetrar membranas celulares, y liberación final de compuestos bioactivos mediante oscilación y estrés mecánico ^(98, 99). Los equipos de EAU incluyen un generador de ultrasonido, transductor, sonda,

recipiente de extracción y sistema de control de temperatura, lo que permite optimizar el proceso y preservar compuestos termolábiles ⁽¹⁰⁰⁾.

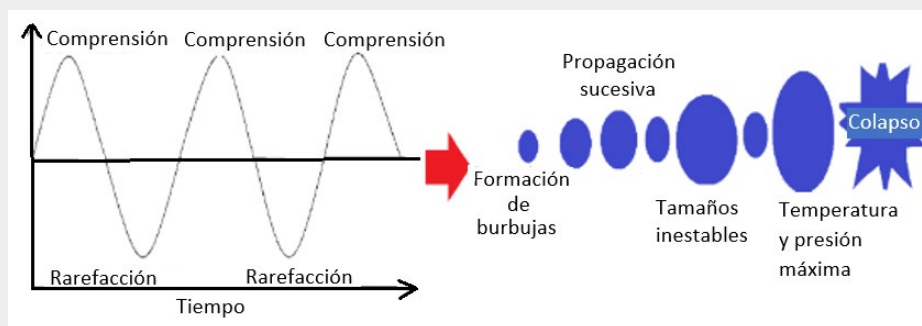


Figura 6. Principio de la cavitación acústica ⁽⁹⁸⁾.

Entre sus ventajas destacan la reducción del tiempo de extracción (aproximadamente 30 minutos), menor uso de solventes, mayor eficiencia energética y la posibilidad de escalar a sistemas continuos. Sin embargo, la generación de radicales libres durante la cavitación puede afectar la calidad de los compuestos extraídos ^(101,102).

Estudios recientes han demostrado la eficacia de la EAU en la extracción de polifenoles de cáscaras de granada ⁽¹⁰³⁾, compuestos fenólicos de semillas de manzana ⁽¹⁰⁴⁾ y piel de kinnow ⁽⁴⁴⁾. Superando a métodos tradicionales como la maceración. Estas aplicaciones resaltan su potencial en industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

3.2.2 Extracción asistida por microondas (MAE)

La MAE es una técnica avanzada que utiliza radiación electromagnética (300 MHz - 300 GHz) para calentar muestras de manera rápida y eficiente, facilitando la extracción de compuestos bioactivos a partir de subproductos de frutas. Este método se basa en la conducción iónica y la rotación dipolar, mecanismos activados por el campo electromagnético que generan un aumento rápido de temperatura, lo que rompe las paredes celulares y libera los compuestos deseados ^(105, 106).

El equipo de MAE consta de una cavidad de microondas, una unidad de extracción, un soporte y un medidor de energía. La cavidad incluye un sistema de control de tiempo y potencia, mientras que la unidad de extracción utiliza un sistema de hidrodestilación Clevenger para reciclar el solvente. El diseño permite un calentamiento uniforme y controlado, optimizando la extracción ⁽⁸⁴⁾.

El proceso de MAE comienza con la absorción de microondas por las moléculas de agua presentes en la matriz vegetal, lo que genera calor interno y presión. Esto provoca la evaporación de la humedad, la hinchazón de las células y la ruptura de las paredes celulares, facilitando la liberación de compuestos bioactivos al solvente ⁽¹⁰⁷⁾. En la figura 7 se observa el esquema de esta técnica.

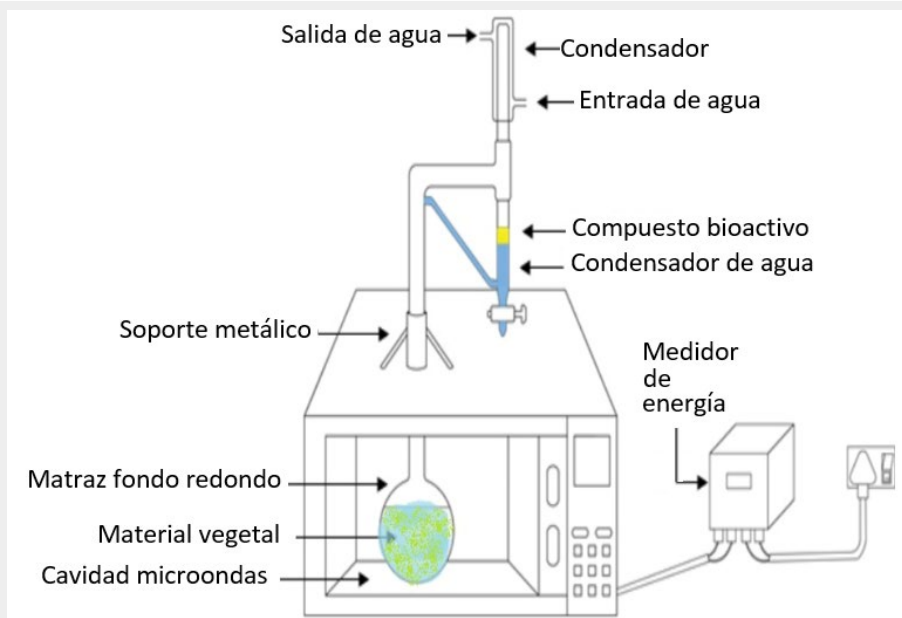


Figura 7. Diagrama esquemático de la unidad de extracción asistida por microondas ⁽⁸⁴⁾.

Existen dos sistemas comerciales de MAE:

Sistema de recipiente cerrado (multimodo). Opera bajo condiciones controladas de temperatura y presión, ideal para extracciones a altas temperaturas. Las microondas se distribuyen uniformemente en una cámara cerrada ⁽¹⁰⁷⁾.

Sistema de recipiente abierto (monomodo): Utiliza un haz enfocado de microondas dirigido directamente al recipiente de extracción, facilitando la transferencia de masa y la solvatación ⁽¹⁰⁷⁾.

El MAE presenta ventajas como la reducción significativa del tiempo de extracción, mayor rendimiento de compuestos bioactivos debido a la mejora en la penetración del solvente, menor uso de solventes y control preciso de temperatura y tiempo, preservando compuestos sensibles al calor ^(75,108).

Entre las desventajas del MAE se tiene complejidad en la optimización de parámetros (tiempo, temperatura, potencia), limitaciones en la elección de solventes y preparación de muestras (polvo fino, secado previo) ⁽¹⁰⁷⁾.

En 2018, se compararon la extracción asistida por microondas (MAE) y la extracción asistida por ultrasonido (EAU) para la obtención de carotenoides a partir de cáscaras de Gac, encontrando que la EAU superó a la MAE en eficiencia y capacidad antioxidante ⁽¹⁰⁹⁾. Rahayu y colaboradores optimizaron la extracción de catequina de cáscaras de cacao mediante MAE, destacando que tiempos prolongados mejoran la liberación de compuestos ⁽¹¹⁰⁾. Por su parte, Zain y Nazeri demostraron que la MAE es efectiva para extraer compuestos bioactivos de cáscaras de pitaya, correlacionando los altos contenidos fenólicos con una mayor actividad antioxidante ⁽¹¹¹⁾.

3.2.3 Extracción con fluidos supercríticos (SFE)

La extracción con fluidos supercríticos (SFE) es una tecnología verde altamente eficiente para la recuperación de compuestos bioactivos de matrices vegetales. Se caracteriza por su rapidez y la preservación de compuestos termolábiles debido a las temperaturas moderadas utilizadas. El dióxido de carbono (CO₂) es el fluido supercrítico más comúnmente empleado, gracias a su disponibilidad, bajo costo, seguridad y baja temperatura crítica (32 °C, 7.4 MPa), lo que facilita su eliminación tras la extracción ^(17, 73).

En estado supercrítico, el CO₂ combina propiedades de líquidos y gases, como alta capacidad solvatante, baja viscosidad y alta difusividad, permitiendo una mayor penetración en las matrices vegetales y mejor transferencia de masa ⁽¹⁰⁷⁾. Un sistema SFE típico consta de un tanque de CO₂, bomba de presurización, celda de extracción y separador, donde el extracto se recolecta tras la despresurización del fluido ⁽¹⁰⁰⁾.

En la figura 8, se puede observar un sistema SFE básico, el cual consta de un tanque de CO₂, una bomba para presurizar el CO₂, la celda de extracción y adicionalmente diferentes tipos de medidores ⁽¹⁰⁰⁾.

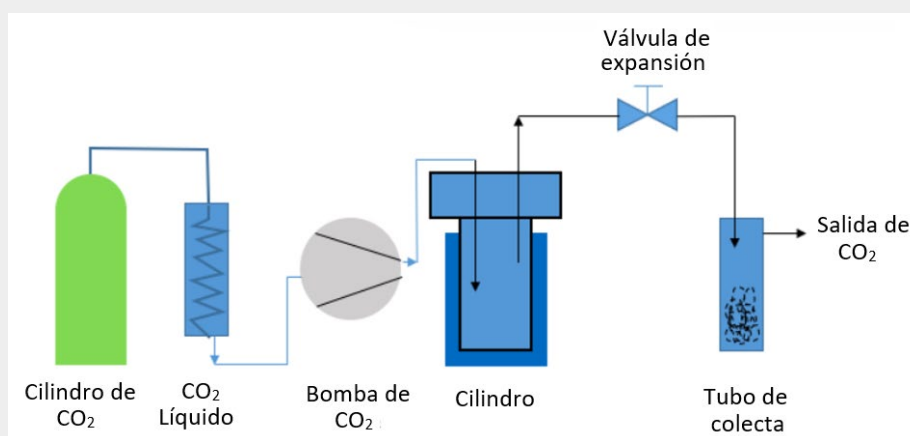


Figura 8. Esquema de un equipo usado para SFE ⁽¹¹²⁾.

El CO₂ supercrítico es preferido por su capacidad para disolver compuestos lipofílicos y su fácil eliminación del extracto final, reduciendo la necesidad de solventes orgánicos y minimizando residuos tóxicos. Sin embargo, su baja afinidad por compuestos polares puede requerir el uso de cosolventes, lo que añade complejidad y costos adicionales al proceso de extracción, además de implicar una cuidadosa selección de las condiciones operativas, como la presión y temperatura, para optimizar la eficiencia y selectividad de la extracción ^(75, 107).

La SFE presenta ventajas significativas frente a métodos clásicos: mayor eficiencia, menores tiempos de extracción y reducción del impacto ambiental. No obstante, la inversión inicial en equipos especializados y la necesidad de operadores capacitados pueden ser limitantes importantes ⁽¹¹³⁾.

La SFE ha demostrado ser una técnica eficiente para la extracción de compuestos bioactivos en diversas matrices. Se ha utilizado CO₂ supercrítico para obtener extractos de semillas de *Bixa orellana* con alta actividad antioxidante ⁽¹¹⁴⁾. Asimismo, la extracción de aceite y compuestos activos de la cáscara y semillas de calabaza (*Cucurbita maxima*) ha mostrado resultados superiores en comparación con métodos convencionales ⁽¹¹⁵⁾. Por otro lado, al comparar la extracción de aceite de semilla de granada mediante SFE y Soxhlet, se ha determinado que el método supercrítico preserva mejor compuestos como α -tocoferol y ácido púnic, aumentando la estabilidad y el valor nutracéutico del extracto ⁽¹¹⁶⁾.

3.2.4 Campo eléctrico pulsado (PEF)

El campo eléctrico pulsado (PEF) es un proceso no térmico en el que se aplica un campo eléctrico externo a una célula durante un corto periodo (desde nanosegundos hasta milisegundos). Esta técnica, también denominada electroporación o electropermeabilización, incrementa la extracción de compuestos bioactivos mediante la ruptura de membranas celulares ^(105, 117).

El principio del PEF radica en la separación de las moléculas de la membrana celular debido a su naturaleza dipolar. Cuando el potencial transmembrana alcanza un valor crítico (~ 1 V), las moléculas cargadas se repelen, intensificando la formación de poros hidrofílicos y aumentando la permeabilidad celular ⁽⁷²⁾. En la figura 9 se ilustra este principio, donde el tratamiento con PEF genera pulsos eléctricos que descomponen la estructura de la membrana celular, facilitando la extracción de los compuestos intracelulares ⁽¹¹⁸⁾.

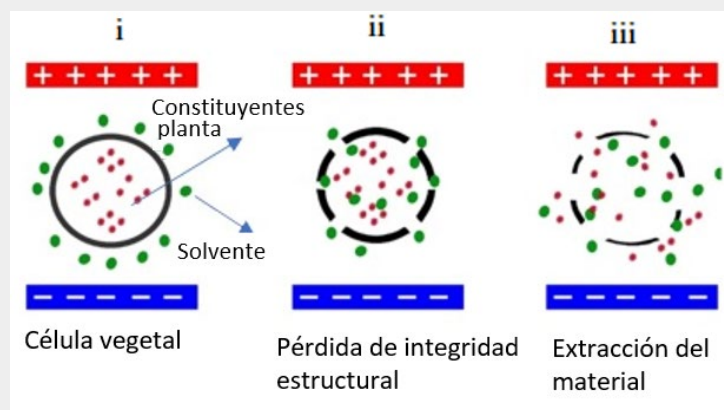


Figura 9. Principio de la extracción PEF ⁽¹¹⁸⁾.

La eficiencia de la electroporación depende de diversos factores dentro los que sobresalen: (i) Parámetros del proceso: intensidad del campo eléctrico, tiempo de tratamiento, energía específica, forma y ancho del pulso, frecuencia y temperatura, (ii) Modo de tratamiento: batch o continuo, (iii) Configuración de la cámara de tratamiento: colineal, coaxial o paralela, (iv) Características fisicoquímicas de la matriz tratada: pH y conductividad y (v) Propiedades de las células tratadas: tamaño, forma, estructura de membrana y estado físico ⁽¹⁰⁵⁾. Estos factores interactúan y determinan el grado de permeabilización y la eficiencia del tratamiento PEF en la extracción de compuestos bioactivos.

La tecnología de campos eléctricos pulsados (PEF) se destaca porque mejora la transferencia de masa al incrementar la permeabilidad celular, permitiendo tiempos de extracción reducidos en comparación con métodos convencionales. Aplicado a intensidades moderadas (500-1000 V/cm por 10^{-4} a 10^{-2} segundos), el PEF genera daño controlado en las membranas celulares con un mínimo aumento de temperatura, evitando la degradación térmica de compuestos sensibles. Además, permite una menor demanda energética y el uso de solventes ecológicos, favoreciendo su eficiencia y sostenibilidad ^(77, 100).

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 ⁽⁷⁰⁾.

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 ⁽¹⁰⁰⁾.

En 2022, Carpentieri y colaboradores investigaron cómo optimizar la extracción de compuestos fenólicos del orujo de uva blanca mediante campos eléctricos pulsados (PEF), logrando un aumento en la recuperación de fenoles totales (8%), flavonoides (31%) y actividad antioxidante (36%) ⁽¹¹⁹⁾. Se ha optimizado la extracción de polifenoles de cáscaras de patata mediante campos eléctricos pulsados (PEF), utilizando la metodología de superficie de respuesta. A través de este enfoque, se identificaron las condiciones óptimas para maximizar la extracción de compuestos

polifenólicos con actividad antioxidante significativa ⁽¹²⁰⁾. Se ha estudiado el efecto de los campos eléctricos pulsados (PEF) como pretratamiento en la recuperación de polifenoles y metilxantinas a partir de dos subproductos: la cáscara de cacao (CBS) y la piel plateada del café (CS). En comparación con métodos convencionales, la extracción asistida por PEF permitió incrementar significativamente los rendimientos, alcanzando aproximadamente un 20% más en la recuperación de estos compuestos ⁽¹²¹⁾.

3.2.5 Extracción asistida por enzimas (EAE)

La EAE es una técnica utilizada en la obtención de compuestos bioactivos, ya sea en etapas de pre-extracción o directamente en la extracción. Este método consiste en la degradación de la pared celular de las plantas para liberar compuestos bioactivos, los cuales suelen estar adheridos a carbohidratos y lípidos. Entre las enzimas clave utilizadas en este proceso se encuentran la pectinesterasa, celulasa, fructosiltransferasa, hemicelulasa, α -amilasa, pectinasa y proteasa ^(73, 77).

Los fitoquímicos en las células vegetales están frecuentemente unidos a componentes de la pared celular, lo que dificulta su extracción mediante métodos convencionales. El pretratamiento enzimático facilita la liberación de estos compuestos al degradar las estructuras de la pared celular, permitiendo una extracción más eficiente ⁽¹²²⁾. Además, la EAE puede incrementar la bioactividad de los extractos al descomponer compuestos de alto peso molecular en otros de menor peso molecular mediante hidrólisis ⁽¹²³⁾.

En el proceso de EAE, existen dos enfoques principales ⁽¹⁰⁰⁾:

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 ⁽¹⁰⁰⁾.

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 10 se observa el EAAE en el bioprocesamiento de separación de aceite ⁽¹²⁴⁾.

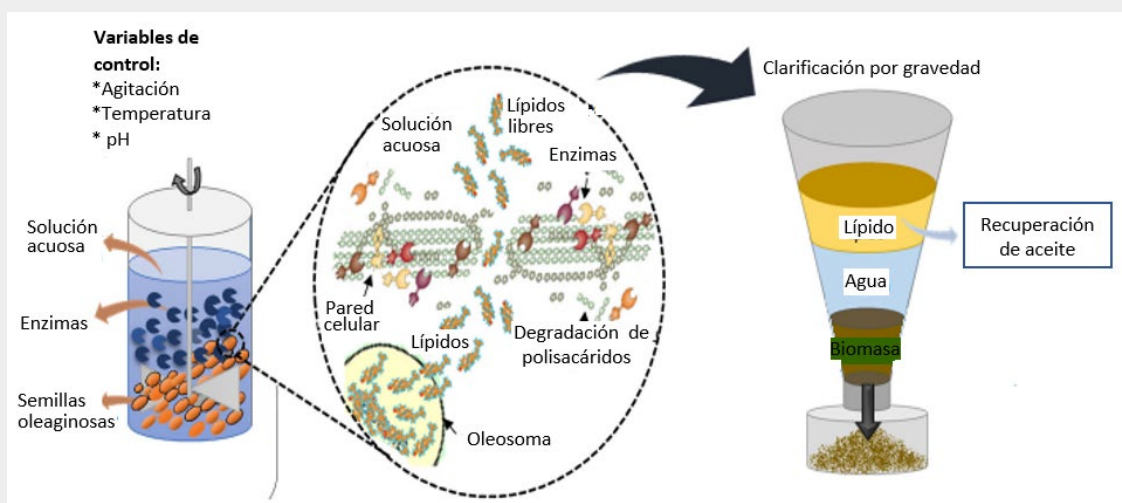


Figura 10. Mecanismo de EAAE ⁽¹²⁴⁾.

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 ⁽¹⁰⁰⁾.

Entre las ventajas de esta técnica se puede destacar que es ambientalmente amigable y segura, ya que evita el uso de solventes orgánicos peligrosos ⁽¹²⁵⁾. Además, los productos obtenidos a través de EAE suelen tener una calidad superior, manteniendo mejor las propiedades y la funcionalidad de los compuestos extraídos ⁽¹²⁶⁾. 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 ⁽⁷⁸⁾.

Una desventaja a considerar es que el costo de las enzimas puede incrementar los costos de producción, especialmente si se requieren enzimas específicas o de alta calidad ⁽¹²⁷⁾. Además, otras desventajas de la EAE es que puede requerir más tiempo para alcanzar los valores máximos de compuestos extraídos ⁽¹²⁸⁾. 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 ⁽¹²⁹⁾.

Se ha investigado el impacto del uso de enzimas como la celulasa, la hemicelulasa y su combinación en proporciones iguales (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 ácidos grasos y fenoles. Los resultados mostraron un aumento significativo en la recuperación de aceites esenciales. Además, en los subproductos hidrodestilados tratados con celulasa se observó una liberación más eficiente de fenoles y flavonoides ⁽¹³⁰⁾.

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 ⁽¹²³⁾.

Se ha explorado la extracción de carotenoides y compuestos fenólicos a partir de desechos de girasol, como pétalos y florecillas, utilizando enzimas y disolventes ecológicos. Los resultados indican que comprender las propiedades fisicoquímicas de los disolventes es fundamental para optimizar su diseño en procesos de extracción asistidos por enzimas ⁽¹³¹⁾.

En la tabla 1, aparece un resumen de los diferentes compuestos bioactivos extraídos de residuos de frutas y verduras, utilizando diferentes técnicas de extracción y los parámetros técnicos trabajados.

Tabla 1. Técnicas de extracción usadas con diferentes residuos de frutas y verduras.

Fuente	Residuo	Técnica	Parámetros Técnicos	Compuesto Bioactivo	Referencia
Granada (<i>Punica granatum</i> 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	(81)
Café (<i>Coffea arabica</i>)	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)	(132)
Limón (<i>Citrus aurantifolia</i>)	Cáscara	Hidrodestilación	Muestra: 100 g Agua: 1:6 Tiempo: 90 min Equipo de destilación: Clevenger	Antioxidantes: Aceite esencial D-Limoneno	(85)
Pomelo (<i>Citrus maxima</i>)	Cáscara	Hidrodestilación	Muestra: 500 g Agua: 3 L Tiempo: 46,418 min Tamaño: 1,942 cm	Antioxidantes: Aceite esencial D-Limoneno	(83)
Chokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Pulpa	Maceración	Tamaño: 0,75 mm Solvente: Etanol 50% Relación sólido-disolvente: 1:20	Antocianina (cianidina-3- galactósido, cianidina-3-arabinósido y la cianidina-3- glucósido), flavonoides (quercetina)	(93)
Granada (<i>Punica granatum</i> L., <i>Punicaceae</i>)	Cáscara	Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)	Tiempo de extracción: 25 min Concentración de etanol: 59% Relación sólido-disolvente: 1:44 Temperatura de extracción: 80 °C	Polifenoles: ácido elágico, ácido gálico, punicalina y punicalagin	(103)
Manzana (<i>Malus domestica</i>)	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	(104)
kinnow (<i>Citrus reticulata</i> 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)	(44)
Gac (<i>Momordica cochinchinensis</i> 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	(109)
Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L)	Cáscara	Extracción Asistida por Microondas (MAE)	Disolvente: Etanol Relación disolvente: muestra: 1:33 Tiempo: 10 min Temperatura: 70° C	Polifenol: Catequina	(110)

Fuente	Residuo	Técnica	Parámetros Técnicos	Compuesto Bioactivo	Referencia
Pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	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)	(111)
Achiote (<i>Bixa orellana</i>)	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)	(114)
Calabaza (<i>Cucurbita maxima</i>)	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	(115)
Granada (<i>Punica granatum L.</i>)	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)	(116)
Uvas (<i>Vitis vinifera</i>)	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: Epicatequina, ácido p-cumárico y quercetina	(119)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	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	(120)
Café (<i>variedad arabica y robusta</i>)	Piel plateada	Campo Eléctrico Pulsado (PEF)	Intensidad del campo eléctrico E: 1,37 kV/cm Número de pulsos: 1000	Polifenoles y metilxantinas (cafeína, teobromina)	(121)
Cilantro (<i>Coriandrum sativum L.</i>)	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)	(130)
Uva (<i>Alicante Bouschet</i>)	Orujo (hollejos, semillas)	Extracción Asistida por Enzimas (EAE)	Enzima: Celulasa, pectinasa Relación sólido: líquido: 1:8 Agitación: 100 rpm Temperatura: 32 °C	Polifenoles: Proantocianidinas	(123)
Girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)	Pétalos floretes	Extracción Asistida por Enzimas (EAE)	Enzima: Complejo multienzimático Concentración: 0,25% en volumen Agitación: 200 rpm Temperatura: 40 °C Tiempo: 2 h	Carotenoides y compuestos fenólicos	(131)

4. Selección de la técnica de extracción más adecuada según el compuesto bioactivo de interés.

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 11 es una representación visual de las técnicas de extracción para diferentes compuestos bioactivos. Cada fila representa un grupo de compuestos (alcaloides, polifenoles, carotenoides, entre otros), y las flechas indican las diferentes metodologías de extracción que pueden emplearse para su obtención. Los colores permiten distinguir entre técnicas convencionales (Soxhlet, maceración, hidrodestilación) y avanzadas (SFE, MAE, EAU, PEF), brindando una referencia rápida sobre opciones innovadoras y eficientes.

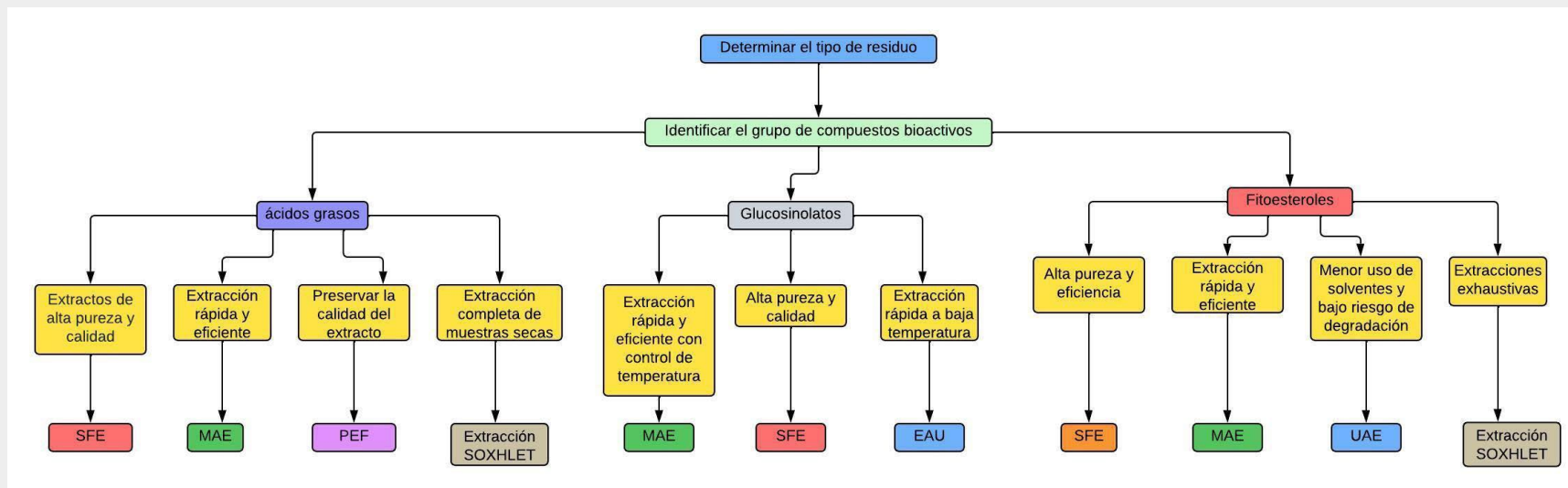
Para utilizar la gráfica, el usuario debe identificar el compuesto bioactivo que desea extraer y seguir la secuencia de flechas asociadas para evaluar las posibles técnicas disponibles. Esto permite comparar métodos y considerar combinaciones estratégicas que optimicen la eficiencia y el rendimiento del proceso. Además, la visualización ayuda a tomar decisiones informadas para aplicaciones en investigación y en la industria, asegurando un aprovechamiento eficiente y sostenible de los residuos de frutas y hortalizas.



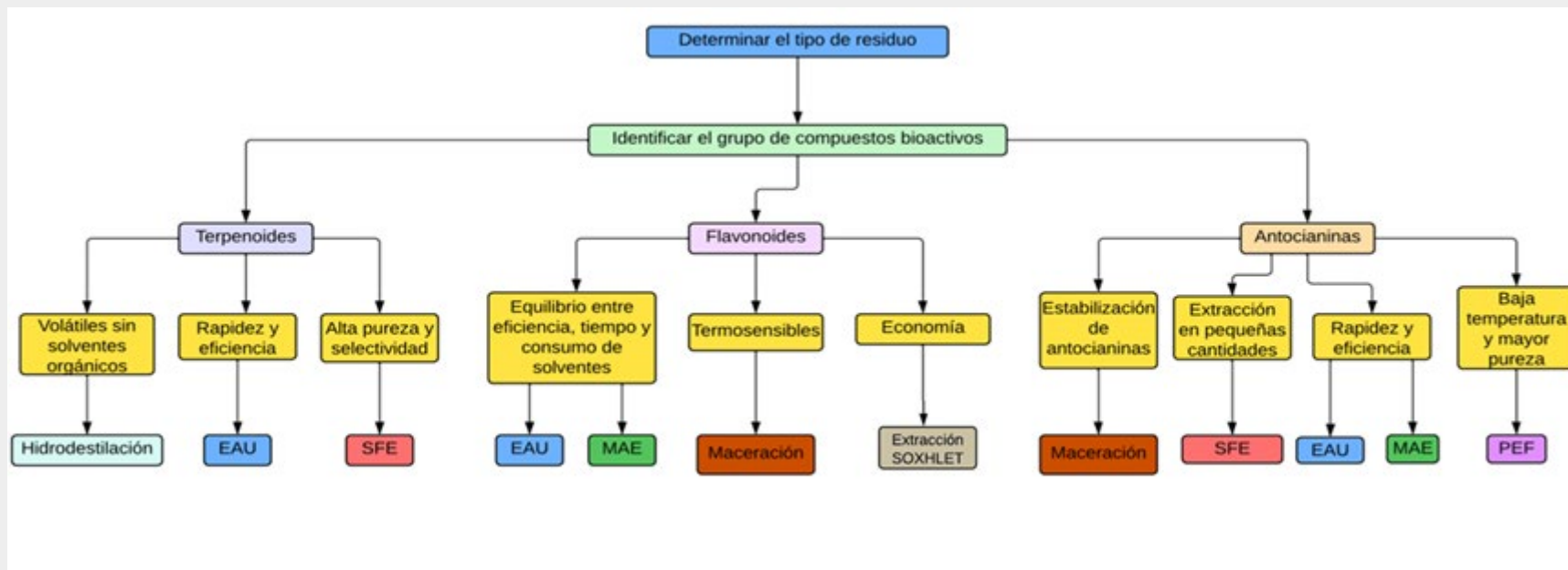
Figura 11. Compuesto bioactivo de interés y técnicas de extracción utilizadas.

Siglas: EAU: Extracción Asistida por Ultrasonido, MAE: Extracción Asistida por Microondas, PEF: Campo Eléctrico Pulsado, SFE: Extracción con Fluidos Supercríticos.

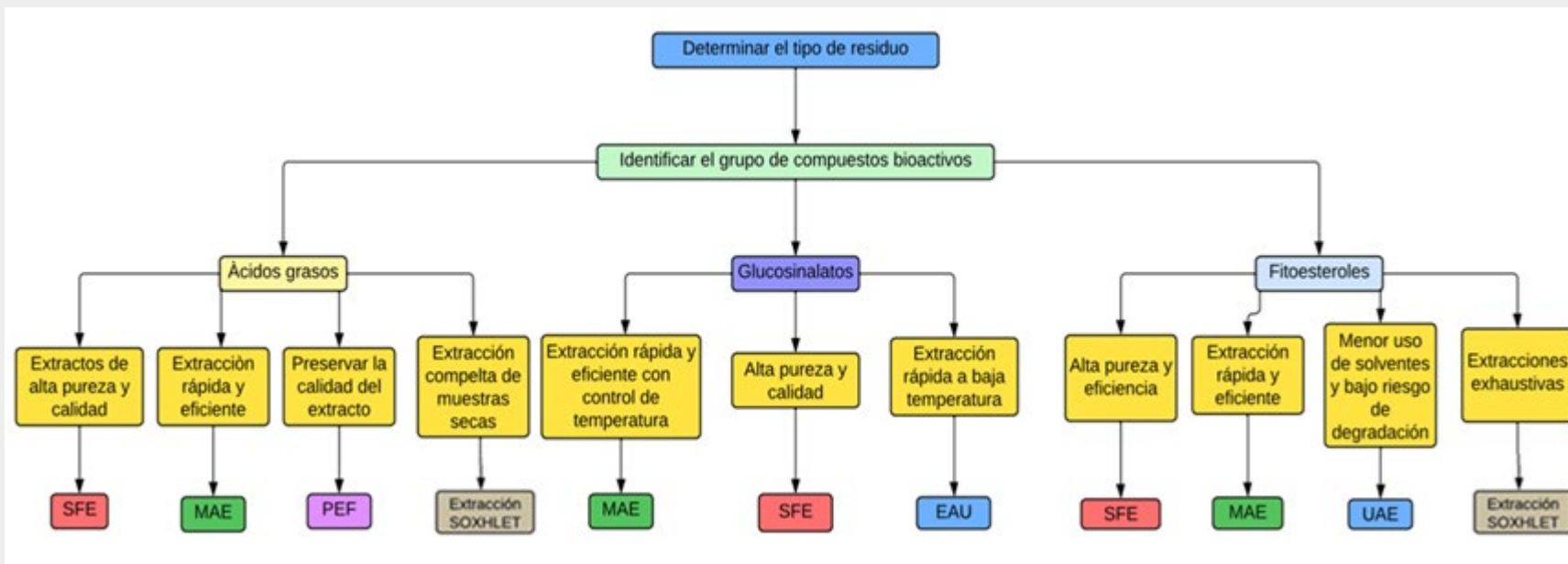
El proceso de selección de la técnica de extracción adecuada depende de diversos factores, incluyendo la naturaleza del residuo y las características específicas del compuesto bioactivo de interés. En la figura 12 se presenta un diagrama donde se muestra la selección de diferentes técnicas de extracción 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.



A. Selección de técnicas de extracción para alcaloides, polifenoles y carotenoides



B. Selección de técnicas de extracción para terpenoides, flavonoides y antocianinas



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

Figura 12. Selección de técnicas de extracción dependiendo del compuesto bioactivo de interés.

Los diagramas presentados sirven como una guía estructurada para la selección de la técnica de extracción más adecuada según el tipo de compuesto bioactivo presente en los residuos de frutas y hortalizas. Para utilizarlos, primero se debe identificar el tipo de residuo y el grupo de compuestos bioactivos de interés. Luego, a través de un sistema de decisiones en forma de árbol, se analizan criterios como la eficiencia, la pureza del extracto, la estabilidad térmica y el uso de solventes, lo que permite seleccionar la metodología de extracción más apropiada. De esta manera, los diagramas proporcionan un enfoque claro y práctico para optimizar la recuperación de compuestos de alto valor en aplicaciones científicas e industriales. Complementando estos diagramas, en la tabla 2 se presenta un resumen de las técnicas de extracción con sus ventajas y desventajas según el compuesto bioactivo a extraer.

Tabla 2. Técnicas de extracción, ventajas y desventajas según el compuesto bioactivo a extraer.

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas	Referencia
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.	(133,134)
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.	(135,136)
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 ultrasonificación.	(137,138)
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	(118,139)
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	(93,140)
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 termolábiles.	(141)
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	Aumenta la eficiencia de extracción. Menor tiempo de extracción. Reduce la cantidad de solvente necesario.	Puede ser costosa debido al equipo especializado. No adecuada para compuestos extremadamente sensibles. Requiere ajuste óptimo de parámetros (frecuencia, potencia, tiempo).	(142,143)
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).	(144)
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. La eficiencia puede variar dependiendo de la matriz y de la composición del material vegetal.	(145)
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 termolábiles (luteína, zeaxantina, licopeno, beta-criptoxantina, alfa-caroteno, beta-caroteno)	(146,147)

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas	Referencia
Extracción con fluidos supercríticos (SFE)	Alta pureza y selectividad en la extracción. Uso de solventes no tóxicos (CO ₂ supercrítico). Eficiencia en la extracción de compuestos termolábiles.	Costo elevado del equipo y operación. Requiere condiciones específicas de temperatura y presión. Complejidad en la operación y mantenimiento del equipo.	(148,149)
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)	(109,150)
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. La eficiencia puede variar dependiendo de la matriz y de la composición del material vegetal.	(151)
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.	(152)
Extracción con fluidos supercríticos (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.	(153)
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)	(154,155)
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.	(93,156)
Extracción Soxhlet	Alta eficiencia de extracción. Menor intervención manual una vez iniciado el proceso.	Requiere equipo especializado. Consumo de tiempo y solventes.	(156)
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.	(156,157)

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas	Referencia
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).	(156,157)
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.	(93,158)
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.	(159)
Extracción con fluidos supercríticos (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.	(160,161)
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. Método más ecológico y seguro al reducir el volumen de solventes Permite una extracción más selectiva de antocianinas	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. La escalabilidad del PEF para la producción industrial aún enfrenta desafíos técnicos y económicos	(162,163)
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.	(164)
Extracción con fluidos supercríticos (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.	(165)
Extracción asistida por microondas (MAE)	Rápida y eficiente. Reduce el tiempo de extracción significativamente. Minimiza el uso de solventes	Requiere equipo especializado.	(166)
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	(118,121)

Técnica de extracción	Ventajas	Desventajas	Referencia
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.	(167)
Extracción con fluidos supercríticos (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.	(153,167)
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.	(155,168)
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.	(164)
Extracción con fluidos supercríticos (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.	(153)
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.	(169)
Extracción asistida por ultrasonido (EAU)	Disminuye el tiempo de extracción. Requiere menores volúmenes de solventes. Minimiza la degradación térmica de los fitoesteroles.	Requiere optimización de los parámetros de extracción. Necesita equipo de ultrasonido adecuado.	(168)

5. Conclusiones

La valorización de residuos de frutas y verduras a través de la extracción de compuestos bioactivos representa una estrategia clave para reducir el desperdicio alimentario y fomentar una bioeconomía sostenible. Estos residuos contienen una diversidad de compuestos con alto valor agregado, tales como compuestos fenólicos, terpenicos, organosulfurados, nitrogenados, fibra, vitaminas, minerales y ácidos grasos poliinsaturados, que pueden ser aprovechados en la formulación de alimentos funcionales, suplementos nutricionales, productos farmacéuticos y biomateriales.

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 selección de la técnica de extracción debe responder a la naturaleza del compuesto bioactivo y a las características de la matriz vegetal, equilibrando eficiencia, sostenibilidad y viabilidad económica. La extracción Soxhlet es más eficiente en la recuperación de lípidos y ácidos grasos; la extracción asistida por ultrasonido y extracción asistida por microondas permiten obtener polifenoles, flavonoides y carotenoides sensibles; la extracción con fluidos supercríticos garantiza extractos puros y estables de fitoesteroles y tocoferoles; mientras que la extracción asistida por enzimas es idónea para liberar compuestos asociados a las paredes celulares, como polifenoles y terpenoides.

No existe una técnica de extracción superior, sin embargo, la integración de tecnologías emergentes y el desarrollo de combinaciones híbridas constituyen la alternativa más prometedora para optimizar la recuperación de compuestos bioactivos, garantizando procesos más sostenibles, eficientes y con mayor valor agregado en el marco de la economía circular.

Referencias

1. ONU. Con 783 millones de personas hambrientas, una quinta parte de los alimentos en todo el mundo van a la basura [Internet]. 2024 [consultado 14 Feb 2025]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2024/03/1528666>
2. El Congreso de la República de Colombia. Ley 1990 [Internet]. Colombia: El congreso de la República de Colombia; 2019. Disponible en: <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201990%20DEL%2002%20DE%20AGOSTO%20DE%202019.pdf>
3. Herrera MF. Colombia: 9 millones de toneladas de alimentos se desperdician al año [Internet]. 2024 [consultado 14 Feb 2025]. Disponible en: <https://www.rcnradio.com/colombia/mas-de-9-millones-de-toneladas-de-alimentos-se-desperdician-al-ano-en-colombia>
4. Monterrosa H. Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. La República [Internet]. Bogotá: La República; 2019 Ene 10 [consultado 17 Abr 2023]. Disponible en: <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>

5. Pulido QL, Núñez AA. Evaluación de estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos en Colombia durante el periodo 2006-2020 [Internet]. Bucaramanga: Unidades Tecnológicas de Santander; 2021. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/7354>
6. Gobierno de Colombia. Bioeconomía para una Colombia Potencia viva y diversa: Hacia una sociedad impulsada por el conocimiento [Internet]. Bogotá: Gobierno de Colombia. Bogotá; 2020. p. 1–48. Disponible en: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sostenible-qm_print.pdf
7. Gobierno de Colombia. 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 [Internet]. Bogotá: Misión de Sabios - Colombia; 2019. Disponible en: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf
8. Bacca AJ, Vásquez A, Rodríguez I, España J. El potencial de los compuestos bioactivos de residuos de frutas y verduras en la industria alimentaria: una revisión. *Rev Ciencias* [Internet]. 2024 Ene 16 [consultado 14 Feb 2025]; 27(2): 14046–14046. Disponible en: <https://doi.org/10.25100/rc.v27i2.14046>
9. Ancos IJ, Fernández J, Moreno CS. Functional compounds in fresh-cut and ready-to-eat products. *Rev Iberoam Tecnol Postcosecha* [Internet]. 2016 [consultado 22 Abr 2023]; 17(2): 130–148. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/813/81349041002/html/>
10. Kainat S, Arshad MS, Khalid W, Zubair Khalid M, Koraqi H, Afzal MF, *et al.* Sustainable novel extraction of bioactive compounds from fruits and vegetables waste for functional foods: a review. *Int J Food Prop* [Internet]. 2022 Dic 31 [consultado 12 Nov 2023]; 25(1): 2457–2476. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2144884>
11. Chamorro F, Carpena M, Fraga-Corral M, Echave J, Riaz Rajoka MS, Barba FJ, *et al.* Valorization of kiwi agricultural waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: a circular economy model. *Food Chem* [Internet]. 2022 Feb 15 [consultado 21 Feb 2024]; 370:131315. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131315>
12. Rafiq S, Kaul R, Sofi SA, Bashir N, Nazir F, Ahmad Nayik G. Citrus peel as a source of functional ingredient: a review. *J Saudi Soc Agric Sci* [Internet]. 2018 Oct 1 [consultado 27 Feb 2024]; 17(4): 351–358. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.07.006>
13. Mwaurah PW, Kumar S, Kumar N, Panghal A, Attkan AK, Singh VK, *et al.* Physicochemical characteristics, bioactive compounds and industrial applications of mango kernel and its products: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2020 Sep 1 [consultado 21 Feb 2024]; 19(5): 2421–2446. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12598>
14. Gómez S, Yory F. Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ing USBMed* [Internet]. 2018 Nov 25 [consultado 24 Abr 2023]; 9(1): 69–74. Disponible en: <https://doi.org/10.21500/20275846.3008>
15. Kumar Y, Yadav AN, Kumar V, Vyas P, Dhaliwal HS. Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresour Bioprocess* [Internet]. 2017 Abr 12 [consultado 22 Abr 2023]; 4(1): 1–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>

16. Vargas M, Figueroa H, Tamayo J, Toledo V, Moo V. Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *Cienc Ergo-Sum* [Internet]. 2019 [consultado 24 Abr 2023]; 26(2). Disponible en: <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
17. Wong-Paz J, Aguilar-Zárate P, Veana F, Muñiz-Márquez DB. Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Rev Espec en Ciencias Químico-Biológicas* [Internet]. 2021 Mar 5; 23 :1–11. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255>
18. Gong P, Wang S, Liu M, Chen F, Yang W, Chang X, *et al.* Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of mushroom polysaccharides: a mini-review. *Carbohydr Res* [Internet]. 2020 Ago; 494: 108037. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108037>
19. Bonilla A. Extracción asistida por enzimas de compuestos fenólicos a partir de cáscara de mango [Internet]. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2021. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22000/1/CD_11495.pdf
20. Cornejo-Figueroa MH, Cartagena-Cutipá R, Alcázar-Alay SC. Tecnologías ecoeficientes para la valoración de residuos agroindustriales en frutas y hortalizas. *Ing Investig* [Internet]. 2020 [consultado 24 Abr 2023]; 2(1): 294–311. Disponible en: [https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/300#:~:text=El creciente desarrollo de tecnologías ecoeficientes para la,generen menor impacto en la contaminación del mismo.](https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/300#:~:text=El%20creciente%20desarrollo%20de%20tecnolog%C3%ADAs%20ecoeficientes%20para%20la%20generaci%C3%B3n%20de%20menor%20impacto%20en%20la%20contaminaci%C3%B3n%20del%20mismo.)
21. Reche C. Extracción acústica de biocompuestos de subproductos de la alcachofa: efecto de la temperatura [Internet]. Universitat de les Illes Balears; 2018. Disponible en: https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/149246/tfm_2017-18_MCTE_crl891_1947.pdf?sequence=1&isAllowed=y
22. Solarte A, Ruíz-Matute AI, Chito-Trujillo DM, Rada-Mendoza M, Sanz ML. [Internet]. Microwave Assisted Extraction of Bioactive Carbohydrates from Different Morphological Parts of Alfalfa (*Medicago sativa L.*) Foods [Internet] 2021 Feb 6 [consultado 08 Dic 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods10020346>
23. Mendoza KG. 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.*) [Internet]. Universidad Autónoma del Estado de México; 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/99169>
24. Sharan P, Madan VK. Supercritical carbon dioxide as greener solvent of 21st century [Internet]. *Asian Journal of Chemistry*. 2018 Feb 28; 30(4): 719–23. Disponible en: <https://doi.org/10.14233/ajchem.2018.21150A>
25. Juárez CE. Una revisión de la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de cítricos procesados: fermentación en estado sólido y métodos de extracción [Internet]. Universidad Nacional de Frontera; 2021. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNFS_f84d011447dc6db807d676061b7061e0
26. Arana N. Una revisión de los beneficios en la salud humana y métodos de extracción de compuestos bioactivos de *Vaccinium meridionale* [Internet]. Universidad Nacional de Frontera; 2021 May 15. Disponible en: <http://repositorio.unf.edu.pe/handle/20.500.14679/100>

27. Lopes LDS. Extracción de ácido clorogénico y cafeína a partir de posos de café [Internet]. Escuela Politécnica Superior; 2021 Sep. Disponible en: <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/9273bb39-8b34-4f1b-b4e5-f7532309756d/content>
28. Calderón ÁE. Métodos de extracción de carotenoides de muestras vegetales [Internet]. Universidad Complutense; 2020 Feb 17. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/683253731/Alvaro-Espinosa-Calderon>
29. Domínguez C, Morantinos A, Álvarez M. Valorización de subproductos de la agroindustria para una economía verde y circular [Internet]. Universidad de Extremadura; 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10662/11732>
30. Acevedo JP, Robledo S, Angarita MS. Subáreas de internacionalización de emprendimientos: una revisión bibliográfica. *Econ CUC* [Internet]. 2020 Dic 3; 42(1): 249–68. Disponible en: <https://doi.org/10.17981/econcuc.42.1.2021.Org.7>
31. Hurtado PD, Rodríguez VS, García MC, Restrepo LM, Restrepo IM. Neuromarketing: its current status and research perspectives. *J Manag Econ Iberoamerica* [Internet]. 2020 Nov 19; 36(157): 525–39. Disponible en: <https://doi.org/10.18046/j.estger.2020.157.3890>
32. Secinaro S, Mas FD, Brescia V, Calandra D. Blockchain in the accounting, auditing and accountability fields: a bibliometric and coding analysis. *Accounting, Auditing & Accountability Journal* [Internet]. 2021 Ago 19 (2022); 35(9): 168–2003. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/AAAJ-10-2020-4987>
33. Gámez J. Avances en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos. *Rev Cienc y Tecnol Agrollanía* [Internet]. 2022 Feb; 19: 7–17. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/358738872_AVANCES_EN_LA_DETERMINACION_DE_COMPUESTOS_BIOACTIVOS_EN_ALIMENTOS
34. Noce A, Di Lauro M, Di Daniele F, Zaitseva AP, Marrone G, Borboni P, et al. Natural bioactive compounds useful in clinical management of metabolic syndrome. *Nutrients* [Internet]. 2021 Feb 16; 13(2): 1–37. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/nu13020630>
35. Tlais AZA, Fiorino GM, Polo A, Filannino P, Cagno R Di. High-Value Compounds in Fruit, Vegetable and Cereal Byproducts: An Overview of Potential Sustainable Reuse and Exploitation. *Mol* [Internet]. 2020 Jun 30 [consultado 21 Feb 2024]; 25(13): 2987. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules25132987>
36. Akter B, Rabeta MS. Synbiotic and antioxidant activity of fruit by-products and their effect on human health. *Food Res* [Internet]. 2021 Feb [consultado 21 Feb 2024]; 5(1): 24–35. Disponible en: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).401](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).401)
37. Elbadrawy E, Sello A. Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arab J Chem* [Internet]. 2016 Nov 16 [consultado 21 Feb 2024]; 9:S1010–8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.11.011>
38. Stajčić S, Četković G, Čanadanović-Brunet J, Djilas S, Mandić A, Četojević-Simin D. Tomato waste: Carotenoids content, antioxidant and cell growth activities. *Food Chem* [Internet]. 2015 Abr 1 [consultado 21 Feb 2024]; 172: 225–32. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.069>

39. Peña-Torres EF, González-Ríos H, Avendaño-Reyes L, Valenzuela-Grijalva NV, Pinelli-Saavedra A, Muhlia-Almazán A, *et al.* Ácidos hidroxicinámicos en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento. Revisión. *Rev Mex Ciencias Pecu* [Internet]. 2019 Jun 16 [consultado 19 Mar 2024]; 10(2): 391–415. Disponible en: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4526>
40. Lim KJA, Cabajar AA, Lobarbio CFY, Taboada EB, Lacks DJ. Extraction of bioactive compounds from mango (*Mangifera indica* L. var. *Carabao*) seed kernel with ethanol-water binary solvent systems. *J Food Sci Technol* [Internet]. 2019 Abr 1 [consultado 21 Feb 2024]; 56(5). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03732-7>
41. Farag MA, Abib B, Ayad L, Khattab AR. Sweet and bitter oranges: An updated comparative review of their bioactives, nutrition, food quality, therapeutic merits and biowaste valorization practices. *Food Chem* [Internet]. 2020 Nov 30 [consultado 21 Feb 2024]; 331: 127306. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127306>
42. Olfa T, Gargouri M, Akrouti A, Brits M, Gargouri M, Ben Ameer R, *et al.* A comparative study of phytochemical investigation and antioxidative activities of six citrus peel species. *Flavour Fragr J* [Internet]. 2021 May 31 [consultado 19 Mar 2024]; 36(5): 564–575. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ffj.3662>
43. Ordoñez-Torres A, Torres-León C, Hernández-Almanza A, Flores-Guía T, Luque-Contreras D, Aguilar CN, *et al.* Ultrasound-microwave-assisted extraction of polyphenolic compounds from Mexican “Ataulfo” mango peels: Antioxidant potential and identification by HPLC/ESI/MS. *Phytochem Anal* [Internet]. 2020 Oct 1 [citado 21 Feb 2024]; 32(4): 495–502. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/pca.2997>
44. Safdar MN, Kausar T, Jabbar S, Mumtaz A, Ahad K, Saddozai AA. Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *J Food Drug Anal* [Internet]. 2017 Jul; 25(3): 488–500. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010>
45. Liu, Li X, Zhao P, Zhang X, Qiao O, Huang L, *et al.* A review of chemical constituents and health-promoting effects of citrus peels. *Food Chem* [Internet]. 2021 Dic 15 [consultado 19 Mar 2024]; 365(6): 130585. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130585>
46. Tocmo R, Pena-Fronteras J, Calumba KF, Mendoza M, Johnson JJ. Valorization of pomelo (*Citrus grandis* Osbeck) peel: A review of current utilization, phytochemistry, bioactivities, and mechanisms of action. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2020 May 31 [consultado 19 Mar 2024]; 19(4): 1969–2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12561>
47. zabo K, Cătoi AF, Vodnar DC. Bioactive Compounds Extracted from Tomato Processing by-Products as a Source of Valuable Nutrients. *Plant Foods Hum Nutr* [Internet]. 2018 Sep 27 [consultado 21 Feb 2024]; 73(4): 268–277. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0691-0>
48. Gallo M, Formato A, Ciaravolo M, Langella C, Cataldo R, Naviglio D. A water extraction process for lycopene from tomato waste using a pressurized method: an application of a numerical simulation. *Eur Food Res Technol* [Internet]. 2019 May 22 [consultado 19 Mar 2024]; 245: 1767–1775. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03300-5>
49. Previtiera L, Fucci G, De Marco A, Romanucci V, Di Fabio G, Zarrelli A. Chemical and organoleptic characteristics of tomato purée enriched with lyophilized tomato pomace. *J Sci Food Agric* [Internet]. 2016 Jun 15 [consultado 21 Feb 2024]; 96(6): 1953–8. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7303>

50. Pinheiro A, Silva P, Rodríguez L, Baginsk C, Figueroa V. Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican. *Arch Latinoam Nutr* [Internet]. 2016 Oct; 66(11): 17–25. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355379016_Fuentes_naturales_de_fitoesteroles_y_factores_de_produccion_que_lo_modifican
51. Zayed A, Badawy MT, Farag MA. Valorization and extraction optimization of Citrus seeds for food and functional food applications. *Food Chem* [Internet]. 2021 Sep 1 [consultado 21 Feb 2024]; 355. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129609>
52. Mojica GJ, Pérez MW. Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la industria vinícola del valle de sáchica. *SENNOVA* [Internet]. 2019; 1–116. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11404/5389>
53. López-Astorga M, Molina-Domínguez CC, Ovando-Martínez M, Leon-Bejarano M. Orujo de Uva: Más que un Residuo, una Fuente de Compuestos Bioactivos. *Epistemus* [Internet]. 2023 Ene 31 (2022); 16(33): 115–22. Disponible en: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.283>
54. Mamani J, Molina M. Efecto de los métodos alternativos de extracción sobre el contenido de polifenoles totales, betalainas y capacidad antioxidantes en residuos de tuna roja (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) [Internet]. Universidad Nacional de Moquegua; 2023. Disponible en: <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/501>
55. Rosales RMJ, Vilchez ORD. Importancia de las propiedades nutraceuticas del espárrago (*Asparagus Officinalis*) en la alimentación humana [Internet]. Universidad Nacional de Frontera; 2022 Dic 16. Disponible en: <http://repositorio.unf.edu.pe/handle/20.500.14679/206>
56. Ahumada A, Ortega A, Chito D, Benítez R. Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*): un subproducto con alto potencial biológico. *Rev Colomb Ciencias Químico - Farm* [Internet]. 2016 Sep 1 [consultado 19 Mar 2024]; 45(3). Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
57. Azcona ÁC. La cebolla, una aliada para la salud [Internet]. UCM. 2016. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2016-11-17-carbajal-cebolla-2016.pdf>
58. Baenas N, Moreno DA, García-Viguera C. Estudio de la bioactividad *in vitro* e *in vivo* de brotes de brócoli ricos en glucosinolatos/isotiocianatos. *Nereis Rev Iberoam Interdiscip Métodos, Model y Simulación* [Internet]. 2017; 10: 69–78. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6446417>
59. Fayos A, Giménez CM, Claver AG. Evolución del conocimiento sobre la pungencia de la cebolla (*Allium cepa* L.) y del pimiento (*Capsicum* spp.): desde sus orígenes hasta el potencial nutraceutico actual. Revisión bibliográfica. *Inf Tec Econ Agrar* [Internet]. 2018 Jun 2; 114(2): 99–118. Disponible en: <https://doi.org/10.12706/itea.2018.007>
60. Ordóñez VA. Análisis del efecto de la α -Solanina en las características citomorfológicas de células vivas adheridas y su relación con la expresión del gen *Shroom3* [Internet]. Pontificia Universidad Javeriana; 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10554/42354>
61. Eraso-Grisales S, Mejía-España D, Hurtado-Benavides A. Extraction of glycoalkaloids of native potato (*Solanum phureja*) ratona morada variety with pressurized liquids. *Rev Colomb Ciencias Químico - Farm* [Internet]. 2019 Ene 1; 48(1). Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n1.80074>

62. Wang L hao, Tan D hong, Zhong X song, Jia M qi, Ke X, Zhang Y mei, *et al.* Review on toxicology and activity of tomato glycoalkaloids in immature tomatoes. *Food Chem* [Internet]. 2024 Jul 30 [consultado 3 Abr 2025]; 447. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138937>
63. Lasano NF, Hamid AH, Karim R, Dek MSP, Shukri R, Ramli NS. 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* [Internet]. 2019 Ene 16 [consultado 21 Feb 2024]; 24(2). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules24020320>
64. Dunlop E, Cunningham J, Adorno P, Dabos G, Johnson SK, Black LJ. Vitamin K content of Australian-grown horticultural commodities. *Food Chem* [Internet]. 2024 Ene 15 [consultado 8 Abr 2025]; 452. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.07473>
65. García SA. Valorización de Residuos Agroindustriales Cítricos para la Obtención de Coproductos Útiles en la Industria Farmacéutica [Internet]. [Santander]: Unidades Tecnológicas de Santander; 2021 [consultado 8 Abr 2025]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6094>
66. Czech A, Zarycka E, Yanovych D, Zasadna Z, Grzegorzcyk I, Klys S. Mineral Content of the Pulp and Peel of Various Citrus Fruit Cultivars. *Biol Trace Elem Res* [Internet]. 2019 Abr 27 [consultado 8 Abr 2025]; 193(2): 555-563. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01727-1>
67. Sánchez GG. Influencia del consumo de frutos rojos en sus distintas presentaciones y su relación con el insomnio en adultos entre los 18 y 50 años [Internet]. Quito: Universidad de las Américas, 2024 [consultado 8 Abr 2025]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/15916>
68. Surco-Laos F, Garcia JA, Bendezú MR, Alvarado AT, Laos-Anchante D, Valle-Campos M, *et al.* Characterization of polyunsaturated fatty acids and antioxidant activity of *Vitis vinifera* L. (grape) seeds from the Ica Valley, Peru. *J Pharm Pharmacogn Res* [Internet]. 2023 Abr 3 [consultado 19 Mar 2024]; 11(2): 270–280. Disponible en: https://doi.org/10.56499/jppres23.1575_11.2.270
69. Granato D, Barba FJ, Bursać Kovačević D, Lorenzo JM, Cruz AG, Putnik P. Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annu Rev Food Sci Technol* [Internet]. 2020 Ene 6; 11: 93–118. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
70. Ali A, Riaz S, Sameen A, Naumovski N, Iqbal MW, Rehman A, *et al.* The Disposition of Bioactive Compounds from Fruit Waste, Their Extraction, and Analysis Using Novel Technologies: A Review. *Processes* [Internet]. 2022 Oct 5; 10(10). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr10102014>
71. Tesfaye B, Tefera T. Extraction of Essential Oil from Neem Seed by Using Soxhlet Extraction Methods. *Int J Adv Eng Manag Sci* [Internet]. 2017 Jun; 3(6): 646–650. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.24001/ijaems.3.6.5>
72. Sagar NA, Pareek S, Sharma S, Yahia EM, Lobo MG. Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2018 Mar 25; 17(3): 512–531. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>

73. Sorrenti V, Bur I, Consoli V, Vanella L. Recent Advances in Health Benefits of Bioactive Compounds from Food Wastes and By-Products : Biochemical Aspects. *Mol Sci* [Internet]. 2023 Ene 19; 28(1). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms24032019>
74. Weggler BA, Gruber B, Teehan P, Jaramillo R, Dorman FL. Inlets and sampling. *Sep Sci Technol* [Internet]. 2020 [consultado 8 Ago 2023]; 12: 141–203. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813745-1.00005-2>
75. Santos, Santana LCL de A. Conventional and emerging techniques for extraction of bioactive compounds from fruit waste. *Brazilian J Food Technol* [Internet]. 2022; 25. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13021>
76. Rajesh Y, Khan NM, Raziq Shaikh A, Mane VS, Daware G, Dabhade G. Investigation of geranium oil extraction performance by using soxhlet extraction. *Mater Today Proc* [Internet]. 2023; 72(5): 2610–2617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.276>
77. Rodríguez SL, Raghavan V. Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2022 Abr 1; 62(23): 6446–6466. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1901651>
78. Malik J, Mandal SC. Extraction of herbal biomolecules. En: Mandal SC, Nayak AK, Dhara AK, editors. *Herbal Biomolecules in Healthcare Applications* [Internet]. Academic Press; 2022 [consultado 11 Jun 2024]. p. 21–46. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85852-6.00015-9>
79. Nafiu MO, Hamid AA, Muritala HF, Adeyemi SB. Preparation, Standardization, and Quality Control of Medicinal Plants in Africa. En: Kuete V. *Medicinal Spices Vegetables from Africa Therapeutic Potential Against Metabolic Inflammatory, Infectious Systemic Diseases* [Internet]. Academic Press; 2017 Jun 1 [consultado 8 Ago 2023]; 171–204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00007-8>
80. Martins R, Barbosa A, Advinha B, Sales H, Pontes R, Nunes J. Green extraction techniques of bioactive compounds: a state-of-the-art review. *Processes* [Internet]. 2023 Jul 26; 11(8). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr11082255>
81. Beghè D, Giordano C, Pizzo B, Lolli V, Caligiani A, Bonzanini F, *et al.* Characterization of Pomegranate (*Punica granatum* L.) through the Morphoanatomical and Lipid Profile of Seeds for the Valorisation of Italian Accessions. *Sustainability* [Internet]. 2022 Nov 9; 14(22): 14780. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su142214780>
82. Vidal E, Sierra Ramírez R, Cruz Reina LJ. Recuperación de compuestos fenólicos de la pulpa del café por medio de una percolación a través de un extractor Soxhlet en escala piloto. *Resgate* [Internet]. 2022 Sep 7. Disponible en: <https://doi.org/10.26507/paper.2312>
83. Colina-Márquez Á, Contreras E, Ruiz J, Monroy L. Comparación de dos métodos de extracción para el aceite esencial de la cáscara de pomelo (*Citrus maxima*). *Rev Ing-Nova* [Internet]. 2022 Feb 7; 1(1): 85–98. Disponible en: <https://doi.org/10.32997/rin-2022-3729>

84. Sagarika N, Prince M V., Kothakota A, Pandiselvam R, Sreeja R, Mathew SM. Characterization and Optimization of Microwave Assisted Process for Extraction of Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) Mace Essential Oil. *J Essent Oil Bear Plants* [Internet]. 2018 Oct 23 [consultado 19 Nov 2023]; 21(4): 895–904. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1517613>
85. Cañavi MJG. Aplicación del ultrasonido en la extracción por hidrodestilación y microondas de aceite esencial de cáscara de limón (*Citrus aurantifolia*) [Internet]. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2022. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5444>
86. Duarte-Trujillo A, Jiménez-Forero J, Pineda-Insuasti J, González-Trujillo C, García-Juárez M. Extracción de sustancias bioactivas de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) por maceración dinámica. *Acta biol Colomb* [Internet]. 2020 Ene 1; 25(1): 61–74. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.72409>
87. Azwanida NN. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Med Aromat Plants* [Internet]. 2015 Jul 6; 4(3). Disponible en: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16623297>
88. Quishpe TSM. Obtención de un extracto vegetal de la Ortiga mayor (*urtica dioica*) aplicando el método de maceración en frío para la elaboración de Queso fresco [Internet]. Universidad Técnica de Cotopaxi; 2019 Feb. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/429f281f-f9d6-48a7-89e2-5295eab0ee2f>
89. Naviglio D, Formato A, Vitulano M, Cozzolino I, Ferrara L, Zanoelo FE, *et al.* Comparison between the kinetics of conventional maceration and a cyclic pressurization extraction process for the production of lemon liqueur using a numerical model. *J Food Process Eng* [Internet]. 2016 Feb 5; 40(2). Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12350>
90. Yasig QOM. Obtención de un extracto vegetal de la ortiga mayor (*urtica dioica*) por maceración con calor para la elaboración de queso fresco. [Internet]. Universidad Técnica de Cotopaxi; 2019 Feb. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7757/1/PC-000676.pdf>
91. Frosi I, Montagna I, Colombo R, Milanese C, Papetti A. Recovery of Chlorogenic Acids from Agri-Food Wastes: Updates on Green Extraction Techniques. *Molecules* [Internet]. 2021 Jul 27 [consultado 4 Oct 2023]; 26(15): 4515. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules26154515>
92. Bakhattar I, Koukouch A, Chater H, Mohamed A, Mouaky A, Idlimam A. Thermodynamic analysis of discontinuous adsorption isotherms of different types of oil pomace. *Heat mass Transf* [Internet]. 2022 Sep 19; 58: 613–630. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03120-y>
93. Čujić N, Šavikin K, Jankovic T, Pljevljakušić D, Zdunic G, Ibric S. Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique. *Food Chem* [Internet]. 2016 Mar 1; 194: 135–142. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.008>
94. Banerjee J, Singh R, Vijayaraghavan R, MacFarlane D, Patti AF, Arora A. Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chem* [Internet]. 2017 Jun 15 [consultado 12 Nov 2023]; 225: 10–22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093>

95. Reinoso Y, Robert P, Ortiz J, Echeverría F, Sanhueza L. P363/s6-p42 desarrollo de un ingrediente funcional mediante extracción asistida por ultrasonido y microencapsulación con quitosano de residuos de arándanos var. *Legacy. Arch Latinoam Nutr* [Internet]. 2023; 73(1). Disponible en: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2023/suplemento-1/art-461/>
96. Patra A, Abdullah S, Pradhan RC. Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresour Bioprocess* [Internet]. 2022 Feb 18 [consultado 12 Nov 2023]; 9(14): 1–25. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00498-3>
97. Wong-Paz JE, Muñiz-Márquez DB, Aguilar-Zárate P, Ascacio-Valdés JA, Cruz K, Reyes-Luna C, *et al.* Extraction of Bioactive Phenolic Compounds by Alternative Technologies. En: Mihai A y Holban AM. *Ingredients Extraction by Physicochemical Methods in Food. Handbook of Food Bioengineering* [Internet]. Academic Press; 2017 [consultado 6 Feb 2025]; 229–52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811521-3.00005-3>
98. Medina-Torres N, Ayora-Talavera T, Espinosa-Andrews H, Sánchez-Contreras Á, Pacheco N. Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. *Agronomy* [Internet]. 2017 Jul 7; 7(3): 47. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy7030047>
99. Fajardo D, Sánchez F, Dueñas J, Dueñas A. Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales. *Rev Cent Azúcar* [Internet]. 2022 Dic; 49(4): 125–143. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/373395723_EXTRACCION_ASISTIDA_POR_ULTRASONIDO_Y_SU_APLICACION_EN_LA_OBTENCION_DE_ACEITES_VEGETALES
100. Selvamuthukumar M, Shi J. Recent advances in extraction of antioxidants from plant by-products processing industries. *Food Qual Saf* [Internet]. 2017 Mar 1; 1(1): 61–81. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx004>
101. Wen C, Zhang J, Zhang H, Dzah CS, Zandile M, Duan Y, *et al.* Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. *Ultrason Sonochem* [Internet]. 2018 Nov [consultado 13 Nov 2023]; 48: 538–549. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>
102. Campos MRG, Hernández MJA, Peláez AA, Hernández SI, Reyes MA, González ML. Tecnologías sustentables (microondas, ultrasonido y CO2 supercrítico) para extracción de compuestos bioactivos en propóleo. *Boletín Ciencias Agropecu del ICAP* [Internet]. 2023 May 15; 9(Especial): 20–5. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icap.v9iEspecial.9260>
103. Živković J, Šavikin K, Janković T, Čujić N, Menković N. Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from pomegranate peel using response surface methodology. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2018 Abr 3; 194: 40–47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.032>
104. Gunes R, Palabiyik I, Toker OS, Konar N, Kurultay S. Incorporation of defatted apple seeds in chewing gum system and phloridzin dissolution kinetics. *J Food Eng* [Internet]. 2019 Ago; 255: 9–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.010>
105. Chemat F, Rombaut N, Meullemiestre A, Turk M, Perino S, Fabiano-Tixier AS, *et al.* Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2017 Jun; 41: 357–377. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016>

106. Otálora-Orrego D, Martín DA. Técnicas emergentes de extracción de β -caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (*Daucus carota* L.): una revisión. *Inf Técnico* [Internet]. 2020 Oct 6; 85(1): 83–106. Disponible en: <https://doi.org/10.23850/22565035.2857>
107. Ameer K, Shahbaz HM, Kwon JH. Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* [Internet]. 2017 Ene 12 [consultado 19 Nov 2023]; 16(2): 295–315. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>
108. Halaliza N, Zulkifly A. Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compound From Pineapple Skins: the Optimum Operating Condition and Comparison With Soxhlet Extraction. *Malaysian J Anal Sci* [Internet]. 2017; 21(3): 690–699. Disponible en: <https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2103-18>
109. Chuyen H V, Nguyen MH, Roach PD, Golding JB, Parks SE, Hoang C, *et al.* 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* [Internet]. 2017 Nov 20 [consultado 19 Nov 2023]; 6(1): 189–196. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/fsn3.546>
110. Rahayu PP, Rosyidi D, Purwadi, Thohari I. Characteristics of catechin extracted from cocoa husks using microwave assisted extraction (MAE). *Biodiversitas* [Internet]. 2019 Dic; 20(12): 3626–3631. Disponible en: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201222>
111. Zain NM, Nazeri MA. Antioxidant and Mineral Content of Pitaya Peel Extract obtained using Microwave Assisted Extraction (MAE). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* [Internet]. 2016 Dic 31; 10(17): 63–68. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323709501_Antioxidant_and_Mineral_Content_of_Pitaya_Peel_Extract_obtained_using_Microwave_Assisted_Extraction_MAE
112. Román M, Rivera C, Cardona L, Muñoz L, Gomez D, Passaro C, *et al.* Guía de Extracción por Fluidos Supercríticos: Fundamentos y Aplicaciones [Internet]. Tecnoparque 2016. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4698/guia_extraccion_fluidos_supercriticos.pdf?sequence=1
113. Cardoso PM, Dariva C, Barroso Vieira GÂ, Hense H. Extraction and evaluation of antioxidant potential of the extracts obtained from tamarind seeds (*Tamarindus indica*), sweet variety. *J Food Eng* [Internet]. 2016 Mar; 173: 116–123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.001>
114. Meñaca E, Restrepo J, Colmenares AJ. Actividad antioxidante del complejo de inclusión del extracto de semilla de Bixa orellana en β -ciclodextrina obtenido por CO₂ supercrítico. *Vitae* [Internet]. 2018 Ago 31; 25(2). Disponible en: <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v25n2a04>
115. Cuco R, Cardozo-Filho L, Silva C da. Simultaneous extraction of seed oil and active compounds from peel of pumpkin (*Cucurbita maxima*) using pressurized carbon dioxide as solvent. *J Supercrit Fluids* [Internet]. 2019 Ene; 143: 8–15. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.002>
116. Natolino A, Da Porto C. Supercritical carbon dioxide extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil: Kinetic modelling and solubility evaluation. *J Supercrit Fluids* [Internet]. 2019 Sep; 151: 30–39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.05.002>

117. Basri MSM, Shah NNAK, Sulaiman A, Tawakkal ISMA, Nor MZM, Ariffin SH, *et al.* Progress in the valorization of fruit and vegetable wastes: Active packaging, biocomposites, by-products, and innovative technologies used for bioactive compound extraction. *Polymers (Basel)* [Internet]. 2021 Oct 12; 13(20). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym13203503>
118. Ranjha MMAN, Kanwal R, Shafique B, Arshad RN, Irfan S, Kieliszek M, *et al.* A critical review on pulsed electric field: A novel technology for the extraction of phytoconstituents. *Molecules* [Internet]. 2021 Ago 12; 26(16). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules26164893>
119. Carpentieri S, Ferrari G, Pataro G. Optimization of Pulsed Electric Fields-Assisted Extraction of Phenolic Compounds From White Grape Pomace Using Response Surface Methodology. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 2022 Abr 12; 6. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.854968>
120. Frontuto D, Carullo D, Harrison SM, Brunton NP, Ferrari G, Lyng JG, *et al.* Optimization of Pulsed Electric Fields-Assisted Extraction of Polyphenols from Potato Peels Using Response Surface Methodology. *Food Bioprocess Technol* [Internet]. 2019 Ago 27; 12: 1708–1720. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02320-z>
121. Barbosa-Pereira L, Guglielmetti A, Zeppa G. Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Cocoa Bean Shell and Coffee Silverskin. *Food Bioprocess Technol* [Internet]. 2018 Ene 13; 11: 818–835. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2045-6>
122. Uddin MS, Ferdosh S, Haque Akanda MJ, Ghafoor K, Rukshana AH, Ali ME, *et al.* Techniques for the extraction of phytosterols and their benefits in human health: a review. *Sep Sci Technol* [Internet]. 2018 Abr 4; 53(14) :2206–2223. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1454472>
123. Cascaes AS, Hidalgo DW, Zarur MA, Rosenthal A, Fortes LM, Tonon RV. Combination of enzyme-assisted extraction and high hydrostatic pressure for phenolic compounds recovery from grape pomace. *J Food Eng* [Internet]. 2021 Ene; 288. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110128>
124. Valladares-Diestra K, Vandenberghe LP, Soccol CR. Oilseed Enzymatic Pretreatment for Efficient Oil Recovery in Biodiesel Production Industry: a Review. *Bioenergy Res* [Internet]. 2020 May 7; 13: 1016–1030. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10132-9>
125. Liu JJ, Gasmalla MAA, Li P, Yang R. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2016 Jun [consultado 11 Jun 2024]; 35: 184–193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.002>
126. Chiang CF, Lai LS. Effect of enzyme-assisted extraction on the physicochemical properties of mucilage from the fronds of *Asplenium australasicum* (J. Sm.) Hook. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2019 Mar 1 [consultado 11 Jun 2024]; 124: 346–353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.181>
127. Patil PD, Patil SP, Kelkar RK, Patil NP, Pise P V., Nadar SS. Enzyme-assisted supercritical fluid extraction: An integral approach to extract bioactive compounds. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2021 Oct [consultado 11 Jun 2024]; 116: 357–369. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.032>

128. Ngamwonglumlert L, Devahastin S, Chiewchan N. Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2017 May 23 [consultado 11 Jun 2024]; 57(15): 3243–3259. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1109498>
129. Łubek-Nguyen A, Ziemichód W, Olech M. Application of Enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Natural Bioactive Compounds for Nutraceutical and Pharmaceutical Applications. *Appl Sci* [Internet]. 2022 Mar 22; 12(7). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app12073232>
130. Abbassi A, Mahmoudi H, Zaouali W, M'Rabet Y, Casabianca H, Hosni K. Enzyme-aided release of bioactive compounds from coriander (*Coriandrum sativum* L.) seeds and their residue by-products and evaluation of their antioxidant activity. *J Food Sci Technol* [Internet]. 2018 May 23; 55: 3065–3076. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3229-4>
131. Ricarte GN, Coelho MAZ, Marrucho IM, Ribeiro BD. Enzyme-assisted extraction of carotenoids and phenolic compounds from sunflower wastes using green solvents. *3 Biotech* [Internet]. 2020 Ago 25; 10. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02393-0>
132. Borrás-Sandoval LM, Torres-Vidales G. Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido – FES. *ORINOQUIA* [Internet]. 2016 Dic [consultado 24 Sep 2023]; 20(2): 47–54. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092016000200007&lng=en
133. Amaya-Salcedo JC, Cárdenas-González OE, Gómez-Castaño JA. Extracción sólido-líquido y determinación por HPLC/UV del compuesto cianogénico amigdalina de semillas de manzana (*Malus pumila* Mill): una comparación entre las metodologías de extracción tradicional y por microondas. *Acta Agronómica* [Internet]. 2018 Jul 1 [consultado 13 Mar 2025]; 67(3): 381–388. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.67186>
134. Cuan DJ, Pitre L, Galván D. Comparison of two extraction methods for the phytochemical analysis of alcoholic extracts from leaves of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. *Cienc e Ing* [Internet]. 2023 Jun 26; 11(1). Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12549588>
135. Angel M, Mejía P, Mosquera-Mosquera N, Benjamín I, Ii R. Estudio de la capacidad antioxidante in vitro de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) mediante extracción asistida por microondas. *Rev Cuba Plantas Med* [Internet]. 2016 [consultado 13 Mar 2025]; 21(1): 42–50. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962016000100005&lng=es
136. Seguil M, Egas P, Avilez H, Blas B, Huamanlazo Z. Evaluación de la extracción de alcaloides de la semilla de tarwi (*Lupinus mutabilis*), por microondas, ultrasonido y convencional. *Journal of Agri-food Science. J Agri-Food Sci* [Internet]. 2020 Ene 31 [consultado 13 Mar 2025]; 1(1): 37–46. Disponible en: <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/jafs/article/view/472>
137. Hernández Malca KA, Velásquez Ruiz AP. Extracción y caracterización de capsaicinoides a partir de desechos orgánicos en la industria de jalapeño verde (*Capsicum annuum* L.) [Internet]. Repos Inst - UNS. 2018 [consultado 16 Mar 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3228>

138. Bautista S, Omar J. Optimización de extracción de teobromina asistida por ultrasonido a partir de residuos de la industria de cacao (*Theobroma cacao*). Univ Nac del Cent del Perú [Internet]. 2020 [consultado 16 Mar 2025]; Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6121>
139. Yan LG, He L, Xi J. High intensity pulsed electric field as an innovative technique for extraction of bioactive compounds-A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2017 May 8 [consultado 24 Mar 2025]; 57(13): 2877–2788. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1077193>
140. Boateng ID. Recent advances in combined Avant-garde technologies (thermal-thermal, non-thermal-non-thermal, and thermal-non-thermal matrix) to extract polyphenols from agro byproducts. *J Food Drug Anal* [Internet]. 2023 Dic 15 [consultado 24 Mar 2025]; 31(4): 1. Disponible en: <https://doi.org/10.38212/2224-6614.3479>
141. Putra LS, Sukweenadhi J, Nathania C, Wibowo ES, Buschle-Diller G, Marianti Purwanto MG. Comparative study of polyphenolic compound extraction from empty palm fruit bunches and sugarcane pulp. *Heliyon* [Internet]. 2022 Feb [consultado 24 Mar 2025]; 8(2): e08951. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08951>
142. Lopez-Carranza MK. Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de los compuestos fenólicos de cedroncillo (*Aloysia herreræ*) y pampa muña (*Hedeoma mandoniana*) [Internet]. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2024 [consultado 24 Mar 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6547>
143. Portela RC, Fiuza T de S, Bezerra DG, Bailão EFLC, de Paula JAM, de Paula JR, et al. Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos y flavonoides de la hoja de *Hortia oreadica*. *Boletín Latinoam y del Caribe Plantas Med y Aromáticas* [Internet]. 2023 Ene 30 [consultado 24 Mar 2025]; 22(6): 887–95. Disponible en: <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.6.60>
144. Chang Y, Shi X, He F, Wu T, Jiang L, Normakhamatov N, et al. Valorization of Food Processing Waste to Produce Valuable Polyphenolics. *J Agric Food Chem* [Internet]. 2022 Jul 14 [consultado 24 Mar 2025]; 70(29): 8855–70. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c02655>
145. Athanasiadis V, Chatzimitakos T, Kotsou K, Kalompatsios D, Bozinou E, Lalas SI. Polyphenol Extraction from Food (by) Products by Pulsed Electric Field: A Review. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2023 Nov 2 [consultado 24 Mar 2025]; 24(21): 15914. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms242115914>
146. Tran HD, Nguyen NTT, Phuong TT, Nguyen QH, Dang V-H. Soxhlet extraction of *Momordica cochinchinensis* fruit peel for β -carotene recovery. *RSC Adv* [Internet]. 2025 Feb 28 [consultado 24 Mar 2025]; 15(9): 6764–6773. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D4RA08999E>
147. Viñas-Ospino A, López-Malo D, Esteve MJ, Frígola A, Blesa J. Green Solvents: Emerging Alternatives for Carotenoid Extraction from Fruit and Vegetable By-Products. *Foods* [Internet]. 2023 Feb 17 [consultado 24 Mar 2025]; 12(4): 863. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods12040863>
148. de Andrade M, Kestekoglou I, Charalampopoulos D, Chatzifragkou A. Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices. *Molecules* [Internet]. 2019 Ene 28 [consultado 24 Mar 2025]; 24(3): 466. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules24030466>

149. Kultys E, Kurek MA. Green Extraction of Carotenoids from Fruit and Vegetable Byproducts: A Review. *Molecules* [Internet]. 2022 Ene 14 [consultado 24 Mar 2025]; 27(2): 518. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules27020518>
150. Li S, Zhang R, Lei D, Huang Y, Cheng S, Zhu Z, *et al.* Impact of ultrasound, microwaves and high-pressure processing on food components and their interactions. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2021 Mar; 109: 1–15. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.017>
151. Luengo E, Álvarez I, Raso J. Improving carotenoid extraction from tomato waste by pulsed electric fields. *Front Nutr* [Internet]. 2014 Ago 11 [consultado 24 Mar 2025];1: 12. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00012>
152. Wang Y, Huang J, Lin X, Su W, Zhu P, Yang N, *et al.* Recent progress in the extraction of terpenoids from essential oils and separation of the enantiomers by GC–MS. *J Chromatogr A* [Internet]. 2024 Ago 16 [consultado 24 Mar 2025]; 1730: 465118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.465118>
153. Herzyk F, Piłakowska-Pietras D, Korzeniowska M. Supercritical Extraction Techniques for Obtaining Biologically Active Substances from a Variety of Plant Byproducts. *Foods* [Internet]. 2024 May 30 [consultado 24 Mar 2025];13(11):1713. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods13111713>
154. Vo TP, Pham TV, Tran TNH, Vo LTV, Vu TT, Pham ND, *et al.* Ultrasonic-Assisted and Microwave-Assisted Extraction of Phenolics and Terpenoids from *Abelmoschus sagittifolius* (Kurz) Merr Roots Using Natural Deep Eutectic Solvents. *ACS omega* [Internet]. 2023 Jul 31 [consultado 24 Mar 2025]; 8(32): 29704–16. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03929>
155. Kumar K, Srivastav S, Sharanagat VS. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrason Sonochem*. [Internet]. 2021 Ene; 70: 105325. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>
156. Guacas YM, Narváez DM, Tacan AN. Aprovechamiento de los flavonoides de los subproductos de la Cebolla Junca en la Finca “el Quinche” Corregimiento de Buesaquillo Pasto - Nariño [Internet]. Pasto - Nariño; 2024 Abr 22 [consultado 24 Mar 2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14112/28289>
157. Heyerdahl I. Revisión sobre las características, propiedades terapéuticas y obtención de flavonoides [Internet]. [Xochimilco]: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco; 2021 [consultado 24 Mar 2025]. Disponible en: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26319>
158. Tena N, Asuero AG. Up-To-Date Analysis of the Extraction Methods for Anthocyanins: Principles of the Techniques, Optimization, Technical Progress, and Industrial Application. Antioxidants (Basel, Switzerland) [Internet]. 2022 Ene 30 [consultado 25 Mar 2025]; 11(2): 286. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/antiox11020286>
159. Leichtweis MG, Pereira C, Prieto MA, Barreiro MF, Baraldi IJ, Barros L, *et al.* Ultrasound as a Rapid and Low-Cost Extraction Procedure to Obtain Anthocyanin-Based Colorants from *Prunus spinosa* L. Fruit Epicarp: Comparative Study with Conventional Heat-Based Extraction. *Molecules* [Internet]. 2019 Feb 5 [consultado 25 Mar 2025]; 24(3): 573. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules24030573>

160. Nunes AN, Borges A, Matias AA, Bronze MR, Oliveira J. Alternative Extraction and Downstream Purification Processes for Anthocyanins. *Molecules* [Internet]. 2022 Ene 7 [consultado 25 Mar 2025]; 27(2): 368. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules27020368>
161. Cid-Ortega S, Monroy-Rivera JA. Extraction of Kaempferol and Its Glycosides Using Supercritical Fluids from Plant Sources: A Review. *Food Technol Biotechnol* [Internet]. 2018 [consultado 25 Mar 2025]; 56(4): 480. Disponible en: <https://doi.org/10.17113/ftb.56.04.18.5870>
162. He Y, Wen L, Liu J, Li Y, Zheng F, Min W, *et al.* Optimisation of pulsed electric fields extraction of anthocyanin from Beibinghong Vitis Amurensis Rupr. *Nat Prod Res* [Internet]. 2018 May 7 [consultado 25 Mar 2025]; 32(1) :23–29. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1324963>
163. Arruda HS, Silva EK, Araujo NMP, Pereira GA, Pastore GM, Junior MRM. Anthocyanins Recovered from Agri-Food By-Products Using Innovative Processes: Trends, Challenges, and Perspectives for Their Application in Food Systems. *Molecules* [Internet]. 2021 Abr 30 [consultado 25 Mar 2025]; 26(9): 2632. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules26092632>
164. de Faria DC, de Queiroz MELR, Novaes FJM. Direct Hot Solid–Liquid Extraction (DH-SLE): A High-Yield Greener Technique for Lipid Recovery from Coffee Beans. *Plants* [Internet]. 2025 Ene 11 [consultado 25 Mar 2025]; 14(2): 185. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants14020185>
165. Dimić I, Pavlić B, Rakita S, Cvetanović Kljakić A, Zeković Z, Teslić N. Isolation of Cherry Seed Oil Using Conventional Techniques and Supercritical Fluid Extraction. *Foods*. [Internet]. 2022 Dic 20; 12(1): 11. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods12010011>
166. Souza DES, Melo JJC de, Santos FF dos, Vasconcelos AL dos S, Jesus A dos S de, Freitas L dos S, *et al.* Microwave-Assisted vs. Conventional Extraction of Moringa oleifera Seed Oil: Process Optimization and Efficiency Comparison. *Foods*. [Internet]. 2024 Oct 1 [consultado 25 Mar 2025]; 13(19): 3141. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods13193141>
167. BaccaAJ, EspañaJ. 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 [Internet]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia; 2024 Ago 24 [consultado 25 Mar 2025]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/63550>
168. Chemat F, Rombaut N, Sicaire AG, Meullemiestre A, Fabiano-Tixier AS, Abert-Vian M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrason Sonochem* [Internet]. 2017 Ene [consultado 25 Mar 2025]; 34: 540–60. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
169. Martínez Á, Santana A. Evaluación de un proceso para la obtención de fitoesteroles partiendo de la semilla del aguacate (*Persea americana* Mill. Var Hass) a escala laboratorio [Internet]. Fundación Universidad de América; 2019 Sep 12 [consultado 25 Mar 2025]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7709>

Fondos y colaboradores:

Este artículo se originó a partir del trabajo de grado titulado: 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, al cursar la maestría en Biotecnología Alimentaria en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería.

Alex Javier Bacca y Johanna España en calidad de maestrandos desarrollaron el trabajo propuesto y las docentes Andrea Vásquez García e Ibeth Rodríguez Gonzalez asesoraron el trabajo desarrollado y aportaron comentarios críticos. Todos los autores contribuyeron a la redacción del manuscrito final y aprobaron su versión definitiva para publicación.

Alex Javier Bacca

Magister en Biotecnología Alimentaria.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD,
Popayán, Colombia.

agroindustriaalex@gmail.com

Andrea Vásquez García

Docente Investigador maestría Biotecnología Alimentaria.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD,
Palmira, Colombia.

andrea.vasquez@unad.edu.co

Ibeth Rodríguez

Docente Investigador maestría Biotecnología Alimentaria.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá
D.C, Colombia.

ibeth.rodriguez@unad.edu.co

Johanna España Muñoz

Magister en Biotecnología Alimentaria.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD,
Popayán, Colombia.

jespanam@sena.edu.co