



Rivar

REVISTA IBEROAMERICANA DE
VITICULTURA, AGROINDUSTRIA
Y RURALIDAD

Editada por el Instituto
de Estudios Avanzados de la
Universidad de Santiago de Chile

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE ARÁNDANO: EXTRACCIÓN POLIFENÓLICA CON TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y CONVENCIONALES



*Revalorization of blueberry residues: Phenolic extraction
using emerging and conventional technologies*

*Reavaliação de resíduos de mirtilo: Extração polifenólica
com tecnologias emergentes e convencionais*

Vol. 11, Nº 31, 194-211, enero 2024

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.35588/rivar.v10i31.5975>

Yessenia Reinoso

Universidad de Chile
Santiago, Chile

ORCID 0000-0002-1785-1333
reinosorojas.yessenia@gmail.com

Edgar Herrera

Universidad de Cuenca
Cuenca, Ecuador

ORCID 0000-0002-7376-2968
edgar.herrera@ucuenca.edu.ec

Jaime Ortiz

Universidad de Chile
Santiago, Chile

ORCID 0000-0002-4176-9065
jaortiz@uchile.cl

Francisca Echeverría

Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

ORCID 0000-0002-9661-0377
franciscaecheverria@uc.cl

Andrés Bustamante

(autor de correspondencia)
Universidad de Chile
Santiago, Chile

ORCID 0000-0003-4843-2382
anbustama@uchile.cl

Recibido

22 de enero de 2023

Aceptado

15 de mayo de 2023

Publicado

Enero de 2024

Cómo citar

Reinoso, Y., Herrera, E., Ortiz, J., Echeverría, F. y Bustamante, A. (2024). Revalorización de residuos de arándano: extracción polifenólica con tecnologías emergentes y convencionales. *RIVAR*, 11(31), 194-211, <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i31.5975>

ABSTRACT

The blueberry juice industry generates residues after processing the fruit that could negatively impact the environment. However, blueberry by-products are rich in phenolic compounds, especially anthocyanins, which have shown positive health effects. Therefore, its revalorization for the formulation of functional ingredients becomes interesting. However, obtaining bioactive compounds from blueberry waste depends mainly on technology. Our objective is to discuss the effect of different conventional and emerging extraction technologies, such as ultrasound-assisted extraction, accelerated solvent extraction, and supercritical-CO₂ extraction, in obtaining polyphenolic compounds from blueberry residues. As result, both conventional and emerging methods effectively recover polyphenolic compounds from the blueberry residue (*Vaccinium spp.*). However, extraction with emerging methods has other advantages since they are considered friendly to the environment by consuming less energy and using suitable solvents for the food industry.

■ KEYWORDS

Polyphenols, anthocyanins, blueberry residues, pressurized fluid extraction, ultrasound.

RESUMEN

La industria de jugo de arándano genera residuos después del procesamiento de la fruta que podrían impactar negativamente al medioambiente. No obstante, los subproductos del arándano son ricos en compuestos fenólicos, especialmente antocianinas, las cuales han mostrado efectos positivos para la salud. Por lo tanto, resulta interesante su revalorización para la formulación de ingredientes funcionales, si bien la obtención de compuestos bioactivos a partir de los residuos de arándanos depende en gran medida de la tecnología utilizada. El objetivo es discutir el efecto de distintas tecnologías de extracción convencionales y emergentes, como la extracción asistida por ultrasonido, extracción acelerada de solventes y extracción con CO₂-supercrítico en la obtención de compuestos polifenólicos desde residuos de arándanos. Como resultado, se obtiene que tanto los métodos convencionales como los emergentes son eficaces para recuperar compuestos polifenólicos del residuo de arándanos (*Vaccinium spp.*). No obstante, la extracción con métodos emergentes presenta otras ventajas, ya que son considerados amigables con el medioambiente al consumir menos energía y utilizar solventes adecuados para la industria alimentaria.

■ PALABRAS CLAVE

polifenoles, antocianinas, residuos de arándanos, extracción fluidos presurizados, ultrasonido.

RESUMO

A indústria de suco de mirtilo produz resíduos depois do processamento da fruta que poderiam impactar negativamente ao meioambiente. Mas os subprodutos do mirtilo são ricos em compostos fenólicos, especialmente antocianinas, as quais tam mostrado efetos positivos para a saúde. Por tanto, resulta interessante sua revalorização para a formulação de ingredientes funcionais, embora a obtenção de compostos bioativos a partir dos resíduos de mirilos depende amplamente da tecnologia utilizada. O objetivo é discutir o efeito de distintas tecnologias de extração convencionais e emergentes, como a extração assistida por ultra-som, extração acelerada de solventes e extração com CO₂-supercrítico na obtenção de compostos polifenólicos desde resíduos de mirilos. Como resultado, obtem-se que tanto os métodos convencionais como os emergentes são eficazes para recuperar compostos polifenólicos do residuo de mirtilos (*Vaccinium spp.*). Mas a extração com métodos emergentes apresenta outras vantagens, pois são considerados amigáveis com o meio ambiente ao consumir menos energia e utilizar solventes adequados para a indústria alimentar.

■ PALAVRAS-CHAVE

polifenóis, antocianinas, resíduos de mirtilos, extração fluidos presurizados, ultra-som.

Introducción

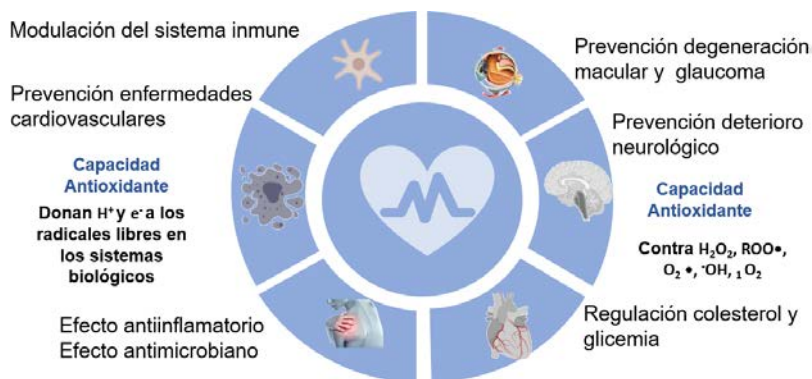
El arándano es un fruto silvestre pertenecientes a un grupo de arbustos perennes del género *Vaccinium* familia *Ericaceae* y subgénero *Cyanococcus*. Las especies más relevantes de arándanos para el área comercial son *Vaccinium corymbosum* o arándano alto (Highbush), *Vaccinium ashei* o arándano ojo de conejo (Rabbiteye) y *Vaccinium angustifolium* o arándano bajo (Lowbush) representando respectivamente, el 80%, 15% y 5% de la superficie total plantada (Flores et al., 2014).

Los arándanos se cultivan en diversas zonas del planeta como Europa, Sudamérica, Australia, Sudáfrica, Nueva Zelanda, China y Japón. La producción de arándanos ha crecido cerca del 40% en los últimos años, expandiéndose al norte de Europa, España, sudeste de Canadá, costa este de Estados Unidos, Chile, Argentina y China (Klavins et al., 2017). En Chile, aproximadamente entre el 85 y el 95% del volumen total de la producción de arándanos frescos se destina a la exportación. Sin embargo, también una parte se destina a la agroindustria de congelado, la principal forma de arándano procesado, representando el 20%, seguidos por los jugos (5%) y deshidratados (1%) (Bamba et al., 2018). De esta manera, durante el procesamiento de la fruta se generan cantidades considerables de cáscara, semillas y pomasa, las cuales en general son descartadas, siendo que la mayor parte de compuestos bioactivos del arándano se concentran en estos residuos. A nivel de la industria del jugo de arándano se describe que durante el procesamiento de 6,4 toneladas/h de arándanos frescos se generan alrededor de 1,3 toneladas/h de residuos agroindustriales entre cáscaras, semillas y tallos de la fruta. Cabe destacar que durante el procesamiento de jugo de arándano alrededor del 20-30% queda en forma de torta/pomasa representando un problema ambiental (He et al., 2016).

Actualmente en Chile el manejo de residuos se centra en el reciclaje destinado a los rellenos sanitarios, mejoradores de suelo y alimentos para animales (Klavins et al., 2017). Sin embargo, los residuos de arándanos tienen un alto contenido de compuestos bioactivos en comparación con otros residuos generados en la agroindustria, provenientes del procesamiento de jugo de naranja, durazno y piña (Bamba et al., 2018). Destaca la presencia de fibra dietética (Zhang et al., 2017) y de fitoquímicos, especialmente de antocianinas (Flores et al., 2014). La composición del fruto y sus residuos puede ser afectada por las diferencias genéticas entre especies, condiciones de postcosecha, madurez del fruto en la cosecha, tipo de procesamiento y origen geográfico, entre otros aspectos (Diez-Sánchez et al., 2021). Las principales antocianidinas que se han detectado en arándanos de los cultivares Brigitta, Bluegold y Legacy son delfinidina (Df), malvidina (Mv), cianidina (Cd), petunidina (Pet) y peonidina (Peo), siendo la distribución de cada aglicona variada entre los genotipos en el orden Df > Mv > Cd > Pet para Bluegold; Dp > Cy > Mv para Brigitta; y Df > Mv > Pet > Cd para Legacy (Struck et al., 2016). Se ha descrito ampliamente que estos compuestos tienen una potente actividad antiinflamatoria y antioxidante (Tamkutė et al., 2020). Sumado a esto, su consumo se vincula a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, mejora de la visión y del comportamiento cognitivo (Tagliani et al., 2019), actividad antitumoral (Struck et al., 2016), efectos antiinflamatorios, antioxidante y a una reducción del riesgo de enfermedades coronarias y cerebrovasculares (Diez-Sánchez et al., 2021; Kurek et al., 2018) (Figura 1).

Figura 1. Beneficios que aportan las antocianinas para la salud.

Figure 1. Health benefits of anthocyanins



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La información disponible indica que la revalorización de los residuos de arándanos, materia prima rica en antocianinas, ofrecería múltiples ventajas desde el punto de vista ambiental, económico, social y de salud, pudiendo utilizarse para el desarrollo de ingredientes y alimentos funcionales. El mercado de los alimentos funcionales se encuentra en continuo crecimiento, evidenciándose durante la última década mayor conciencia de parte de los consumidores hacia la salud y el consumo de alimentos con mayor valor agregado (Kitrytė et al., 2020). Para obtener aquellos compuestos bioactivos presentes en los residuos de arándanos es necesario extraerlos desde la materia prima con la ayuda de diversas tecnologías. La mayoría se basa en la aplicación de calor y utilización de solventes orgánicos. Entre los métodos más conocidos destaca la extracción Soxhlet y la hidrodestilación que generalmente resultan en extracciones con un alto rendimiento. No obstante, utilizan altas temperaturas que podrían favorecer la pérdida de algunos compuestos volátiles y termolábiles (Machado et al., 2017).

Por otro lado, la maceración y la extracción sólido-líquido utilizan tiempos de proceso largos. Es por ello que se han desarrollado metodologías conocidas como no convencionales o emergentes cuyo proceso se basa en el empleo de presiones altas y bajas temperaturas como la extracción con líquidos presurizados (ELP) y la extracción con CO₂ supercrítico (CO₂-SC) o el uso de vibraciones como la extracción asistida por ultrasonido (EAU). Todos estos métodos resultan en una alta eficiencia disminuyendo tanto el tiempo de extracción como el uso de solvente (Dos Santos et al., 2021). Así, son consideradas como metodologías adecuadas para la extracción de compuestos térmicamente inestables, además de ser procesos simples, prácticos y amigables con el medio ambiente. Con estas características resulta interesante estudiarlas para escalarlas a nivel de la industria alimentaria en procesos de innovación y desarrollo de ingredientes funcionales (Diez-Sánchez et al., 2021). En este sentido, además de las propiedades biológicas de las antocianinas, este grupo se caracteriza por su solubilidad en medio acuoso, lo que permitiría su incorporación en numerosos sistemas alimentarios (Calabuig-Jiménez et al., 2022). Por lo tanto, el objetivo de este artículo es discutir la influencia que tienen distintas tecnologías de extracción (convencionales y emergentes) sobre la recuperación de compuestos bioactivos (polifenoles y antocianinas) a partir de los residuos/pomasa de arándanos (*Vaccinium spp.*) como potencial materia prima para el desarrollo de ingredientes funcionales.

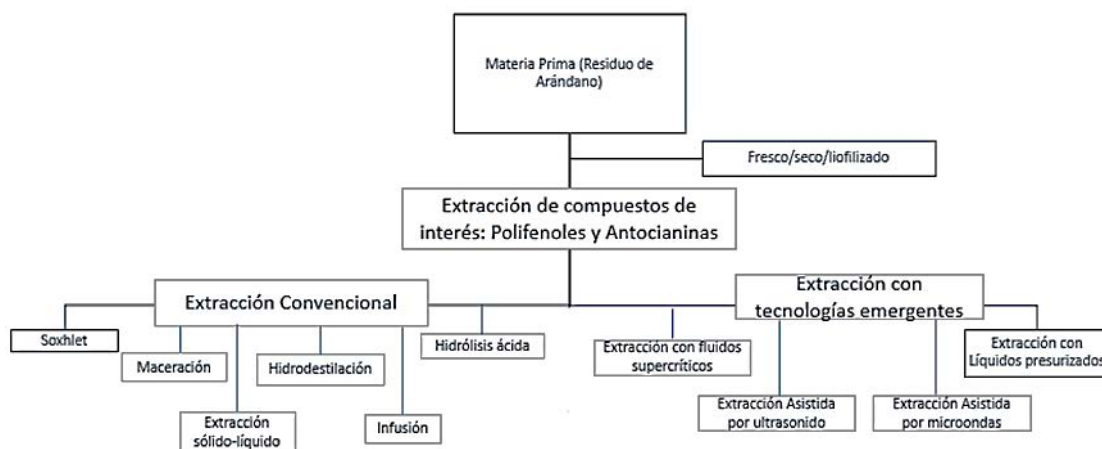
Metodología

Este artículo es una revisión narrativa sobre el efecto que tienen los parámetros utilizados en las diferentes metodologías de extracción sobre la recuperación de compuestos fenólicos obtenidos a partir de residuos de arándano (*Vaccinium spp.*). Se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos digitales Scopus y Web of Science, y se incluyeron estudios de comparación de métodos de extracción de compuestos bioactivos a partir de pomasa de arándanos, considerando artículos desde el 2007 a marzo 2022. Las palabras clave en inglés que se utilizaron fueron (AND/OR): pomace/residue blueberry, cranberry, bilberry, extraction methods, conventional extraction, ultrasonic assisted extraction, supercritical CO₂ extraction, accelerated solvent extraction, Soxhlet extraction, solid-liquid extraction, pressurized liquid extraction, enzymatic extraction, polyphenols y anthocyanins.

Extracción de polifenoles y antocianinas de residuos de arándano

Existe información limitada en cuanto a la caracterización de residuos de arándano. Sumado a ello, la literatura registra diferencias tanto en el contenido de antocianinas como en los perfiles de antocianinas presentes en el fruto en fresco y sus residuos. En general, se ha descrito que cerca del 88% de las antocianinas del arándano se encuentra en sus residuos. El jugo, a su vez, tiene un menor contenido de antocianinas, con malvidina-3-glucósido como el principal compuesto (Diez-Sánchez et al., 2021). De igual manera, en el estudio realizado por Paes et al., 2014 se demuestra que los extractos de los residuos de arándanos poseen mayor contenido de antocianinas que el jugo, lo que puede explicarse por el hecho de que estos compuestos están más concentrados en la cáscara que en la pulpa de la fruta, identificando 16 antocianinas en esta materia prima. Otros autores reportan la presencia de entre 16 a 25 distintas antocianinas (cianidina, delfinidina, malvidina, petunidina y peonidina) y sus combinaciones con glucosa, galactosa y arabinosa en posición C3, siendo la delfinidina 3-glucósido aquella antocianina con un mayor contenido, lo que evidencia la gran complejidad de este tipo de extractos (Xue et al., 2020). En relación al contenido de antocianinas totales, los extractos de residuos de arándanos muestran un amplio rango de valores. Por ejemplo, para residuos de arándano *Vaccinium corymbosum* extraídos mediante tecnologías convencionales se ha descrito contenidos de 9,46-2694 mg EAG/g residuo (Laroze et al., 2010; Mayer-Miebach et al., 2012). Un resumen de las principales tecnologías convencionales y emergentes utilizadas para la extracción de residuos de arándanos puede observarse en la Figura 2.

Figura 2. Esquema general de los métodos de extracción a partir de residuos de arándanos
Figure 2. General scheme of extraction methods for blueberry residues



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Entre los métodos convencionales destacan la extracción Soxhlet, la maceración, la extracción por infusión, extracción con solvente y la destilación con vapor, mientras que la extracción de fluidos supercríticos (EFS), la extracción de líquidos presurizados (ELP) y EAU son consideradas tecnologías emergentes amigables con el medio ambiente (Avram et al., 2017). Esta revisión recopila datos registrados referentes a parámetros de importancia utilizados en dichas extracciones (temperatura, tiempo, tipo de solvente, potencia, frecuencia, entre otros) aplicando tanto los métodos convencionales como emergentes (ASE, EAU, CO₂-SC y EAM) en la recuperación de antocianinas y polifenoles a partir de residuos de arándano (*Vaccinium spp.*) (Tabla 1). La información disponible muestra que existen diferencias en las recuperaciones a partir del mismo tipo de materia prima, lo que podría explicarse por factores intrínsecos como extrínsecos de la fruta y por los fundamentos en que se basa cada tecnología de extracción. Esto ha llevado a un aumento del número de publicaciones enfocadas en tecnologías emergentes.

Tabla 1. Estudios de extracción a partir residuos de arándano (*Vaccinium spp.*) mediante métodos convencionales y emergentes

Table 1. Extraction studies from blueberry residues (Vaccinium spp.) using conventional and emerging methods

Referencia	Materia vegetal (residuo)	Método de extracción	Parámetros de proceso	Antocianinas totales	Polifenoles totales	Capacidad antioxidante
(Laroze et al., 2010)	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	CO2-SC	Temperatura: 60°C Flujo de solvente: 2.5 L CO2/h Tiempo: 2 h Presión: 80-100 bar	n/d	29,5 mg EAG/100 g	DPPH: 72,6 µg DPPH scavenged /g EAG
		Convencional	Temperatura: 40°C Proporción de Solvente (MeOH: H2O): 1:20 Tiempo: 1–24 h. Agitación: 120 rpm	n/d	9,46 mg EAG/100 g	DPPH: 75 µg DPPH scavenged /g EAG
(Holtung et al., 2011)	<i>Vaccinium corymbosum</i>	EAU	Temperatura: 90°C Solvente: acetona Proporción sólido-solvente: 2,5 g/10ml Tiempo: 10 min	686 ± 12 mg EC3G/100 g	2004 ± 17 mg EAG/100 g	n/d
(Mayer-Miebach et al., 2012)	Chokeberry (<i>Aronia melanocarpa</i>)	Convencional	Solvente: acetona/agua (60/40 v/v) Proporción sólido-solvente: 2g/30 ml Tiempo: 30 min	11,9 – 19,5 g/kg	31,00 – 63,00 g/kg	240 – 600 mmol/kg
(Li et al., 2013)	<i>Vaccinium Ashei</i>	Convencional	Temperatura: 4°C en la oscuridad Solvente: EtOH 70% + ácido acético 0.5% Tiempo: 24 h	n/d	2694 ± 29 mg EAG/100 g	FRAP: 5,33 ± 0,11 mmol of FeSO4 /g
(Paes et al., 2014)	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	CO2-SC	Solvente: 90% CO2 Cosolvente: 5% etanol, 5% agua Presión: 20 MPa	Residuo fresco		
				28,9 ± 64 mg EC3G/100 g	3,6 ± 11 mg EAG/100 g	DPPH: 44,8 ± 160 µmol ET/g
				Residuo liofilizado		
				16,5 ± 111 mg EC3G/g	3,5 ± 4 mg EAG/g	DPPH: 35 ± 19 µmol ET/g
		ASE	Temperatura: 40°C Flujo del solvente 50%v/v (EtOH: H2O): 10 ml/min Presión: 20 MPa Temperatura: 40°C Flujo del solvente 100% (EtOH): 10 ml/min Presión: 20 MPa	Residuo fresco		
				250 ± 9.5 mg EC3G/g	90 ± 2 mg EAG/g	DPPH:1746±71 µmol ET/g
				Residuo liofilizado		
				257 ± 4,0 mg EC3G/g	102 ± 1,0 mg EAG/g	DPPH: 1867 ± 5 µmol ET/g
(Flores et al., 2014)	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Convencional	Temperatura: 22°C Solvente: ETOH acuoso (80% v/v) Proporción sólido-solvente: (1:10) Tiempo: 24 h	1,88 mg EC3G/g	4,04 mg EAG/g	69,31 nmol Fe II equiv/g
(He et al., 2016)	<i>Vaccinium ashei</i>	EAU	Temperatura: 34-61,03 °C Proporción sólido-solvente: 21,70 ml/g de residuo seca Tiempo de sonicación: 23,67 min.	3,41– 4,11 mg EC3G/g	7,19 – 16,01 mg EAG/g	n/d

(Klavins et al., 2017)		EAM	Temperatura: 80°C Solvente: 96% ETOH Proporción sólido-solvente: 0,50 g liofilizado/50 ml Tiempo: 20 min Potencia: 600 W	0,054 ± 0,001 g/100 g	1,09 ± 0,04 g/100 g	n/d
		Convencional	Temperatura: 80°C Solvente: 96% ETOH + 0,5% ácido trifluoroacético, v/v Tiempo: 12 h	0,065 ± 0,002 g/100 g	1,21 ± 0,05 g/100 g	n/d
		Convencional	Solvente: 96% ETOH Tiempo: 24 h	0,098 ± 0,002 g/100 g	1,12 ± 0,06 g/100 g	n/d
		EAU	Temperatura: 30°C Solvente: 96% ETOH liofilizado/50ml Potencia: 360 W Reemplazo de agua cada 20 min.	0,147 ± 0,004 g/100 g	1,68 ± 0,07 g/100 g	n/d
(Machado et al., 2017)	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Convencional	Temperatura: 80°C Solvente (EtOH): 100% Tiempo: 5 h pH: 2	2,58 ± 0,13 mg EC3G/g	6,83 ± 0,86 mg EAG/g	DPPH: 40,38 ± 1,42 µmol ET/g FRAP: 63,90 ± 5,15 µmol ET/g
		ASE	Temperatura: 80°C Solvente: EtOH/H2O (70%v/v) Tiempo: 30 min Presión: 10 Mpa	1,69 ± 0,01 mg EC3G/g	6,92 ± 0,21 mg EAG/g	DPPH: 38,22 ± 3,53 µmol ET/g FRAP: 73,65 ± 3,2 µmol ET/g
		EAU	Temperatura: 80°C Solvente: EtOH/H2O (70%v/v) Sonicación: 90 min Presión ambiente	2,33 ± 0,08 mg EC3G/g	5,75 ± 0,02 mg EAG/g	DPPH: 42,51 ± 2,84 µmol ET/g FRAP: 54,82 ± 2,54 µmol ET/g
		EAU + ASE	Ultrasonido Temperatura: 80°C EtOH/H2O: 50-70%v/v Tiempo: 8 min ASE Presión: 10 MPa Temperatura: 80°C EtOH/H2O: 70%v/v Tiempo: 30 min	2,15 ± 0,29 mg EC3G/g	8,54 ± 0,37 mg EAG/g	DPPH: 60,75 ± 3,38 µmol ET/g FRAP: 82,80 ± 6,93 µmol ET/g
(Zhang et al., 2017)	<i>Vaccinium ashei</i> cv. Reade, Gardenblue	Convencional	Temperatura: 60°C Tiempo: 1h	32, 43 ± 1,91 mg/100 g	53,18 ± 3,61 mg EAG/100 g	n/d
		EAU	Tiempo: 1 h Solvente: EtOH (60%) y 12 M HCl (99/1 v/v) Potencia: 50 W/L de agua Frecuencia: 28 KHz	38, 44 ± 6,54 mg/100 g	57,35 ± 7,68 mg EAG/100 g	n/d
		EAM	Tiempo: 150 s Potencia: 600 W	36, 76 ± 5,44 mg/100 g	55,07 ± 3,32 mg EAG/100 g	n/d
		Asistida por alta presión hidrostática	Tiempo: 3 min Presión: 500 Mp	44, 2 ± 5,76 mg/100 g	70,26 ± 5,63 mg EAG/100 g	n/d
(Avram et al., 2017)	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	ASE	Temperatura: 120°C Solvente: Agua Presión: 68 bar, cinco ciclos de extracción, tiempo de ejecución total de 25-30 min	61,0 mg/100 ml	790 mg/100 ml	n/d

(Bamba et al., 2018)	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	EAU	Temperatura: 20-40°C Solvente EtOH/H2O: 50% Proporción sólido-solvente: 1:15 pH: 3,3 Tiempo: 40 min	31,32 mg EC3G/100 g	22,33 mg EAG/100 g	DPPH: 41,79 mg ET/g
(Bittencourt et al., 2018)	<i>Vaccinium spp.</i>	Convencional	MeOH/H2O (50:50%v/v) Acetona/ agua (70:30%v/v) Tiempo: 60 min	44,26 ± 5,04 mg EC3G/100 g	420,0 ± 11,0 mg EAG/100 g	FRAP: 1756,0 ± 8,9 ET/100 g
(Kurek et al., 2018)	<i>Vaccinium Corymbosum</i> L.	EAM	Temperatura: 50°C Solvente: EtOH Potencia 600 W Tiempo: 10 min Agitación: 75%	4,65 mg/g	11,04 mg/g	n/d
(Tagliani et al., 2019)	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Convencional	Temperatura ambiente solvente: HCl/ MeOH/H2O (1:80:10 v/v) Tiempo: 2 h	125,82 ± 5,89 mg C3G/100 g	285,14 ± 4,48 mg EAG/100 g	339,09 ± 2,69 µmol ET/g
(Hu et al., 2019)	<i>Vaccinium spp.</i>	EAU	Temperatura: 2°C Solvente: metanol puro Tiempo: 30 min	12,49 mg EC3G /g	n/d	n/d
(Tamkutė et al., 2020)	Cranberry (<i>Vaccinium macrocarpon</i>)	CO2-SC	Temperatura: 53 C Cosolvente: 5% EtOH Presión: 42,4 MPa Flujo CO2 2 L/min	n/d	n/d	ORAC: 79,69 ± 3,74 mg ET/g
(Kitrytė et al., 2020)	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	CO2-SC	Temperatura: 53°C Presión: 47 MPa Tiempo: 75 min Tiempo estático de extracción: 10 min Flujo CO2: 2 SL/min	n/d	11,8 mg EAG/g	n/d
		Convencional	Soxhlet Solvente: Hexano Rango de extracción: 1 ciclo / 5 minutos Tiempo: 360 min Muestra: 20 g de pomasa	n/d	4,5 mg EAG/g	n/d
			Sólido-líquido Temperatura: 20°C Solvente: ETOH: H2O Proporción sólido/solvente: 70/30 v/v Tiempo: 720 minutos. Agitación: 800 rpm	n/d	19 mg EAG/g	n/d
			Extracción enzimática Temperatura: 50°C Solvente: Ácido cítrico buffer (pH 4,8) con 197 µL de Viscozyme L Tiempo: 360 min Agitación: 400 rpm, 10 min	n/d	0,52 mg EAG/g	n/d
		ASE	Temperatura: 70°C Solvente: ETOH: H2O Presión: 10,3 MPa Tiempo: 45 min (3 ciclos), precalentamiento por 5 min	2,31 mg EC3G/g	42,98 mg EAG/g	n/d

(Nilova et al., 2020)	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	EAM	Temperatura: 20°C Solvente: H2O Proporción muestra-solvente (1:10) Tiempo: 60 s Frecuencia: 2450 MHz Potencia: 800 W	514,8 ± 8,5 mg/100g	682,4 ± 20,9 mg/100g	FRAP: 222 mg AC/100g DPPH: 167 mg AC/100g
	<i>Vaccinium macrocarpon</i> L.			201,7 ± 9,2 mg/100g	551,6 ± 21,0 mg/100g	FRAP: 171 mg AC/100 g DPPH: 76 mg AC/100 g
(Xue et al., 2020)	<i>Vaccinium</i> spp	EAU	Temperatura: 50°C Solvente eutéctico profundo (1,4-butanediol 1:3) /agua 30% Tiempo: 30 min Potencia: 300 W	9,32 ± 0,08 mg/g	n/d	n/d
(Diez-Sánchez et al., 2021)	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Convencional	Solvente: MeOH 80% Proporción sólido-solvente 1:100 residuo/volumen	n/d	3,02 ± 0,12 mg EAG/100 g	n/d
(Dos Santos et al., 2021)	<i>Vaccinium myrtillus</i>	EAU	Temperatura: 60°C Solvente: agua destilada Tiempo: 45 min Amplitud: 100%	0,59±0,04 µg C3G/mg	5,02±0,32 µg EAG/mg	DPPH: 1,64± 0,12 µM ET/mg FRAP: 129.28±17,25 µM ET/mg
(Troncoso Mesa et al., 2021)	<i>Vaccinium corymbosum</i>	Extracción sólido-líquido	Temperatura: 50°C Solvente: EtOH-H2O (45%) Tiempo: 108 min. pH: 2	272,69 mg EC3G/100 g	335,95 mg EAG/100 g	528,96 mg ET/100 g
		EAM	Solvente: EtOH-H2O (29,7%) Tiempo: 95 segundos. Potencia: 1200 W	389,4 mg EC3G/100 g	426,19 mg EAG/ 00 g	654,11 mg ET/100 g
(Calabuig-Jiménez et al., 2022)	<i>Vaccinium corymbosum</i> var. Duke	Convencional	Solvente: MeOH/H2O 80% (v/v) Tiempo: 1 h	4,4 ± 0,2 mg C3G/ 100 g	74,5 ± 0,4 mg EAG/100 g	145,7 ± 0,6 mg ET/g

Donde mg EC3G: miligramos equivalentes de Cianidina-3 glucósido; mg EAG: miligramos equivalentes de ácido gálico; mg ET: miligramos equivalentes de trolox; n/d: no definido; ASE: extracción acelerada de solventes, EAU: extracción asistida por ultrasonido, CO₂-SC: CO₂ supercrítico y EAM: extracción asistida por microonda. Fuente: elaboración propia. Where mg EC3G: miligram equivalent of Cyanidin-3 glucoside; mg EAG: miligram equivalents of gallic acid; mg ET: miligram equivalents of trolox; n/d: not defined; ASE: accelerated solvent extraction, EAU: ultrasonic assisted extraction, CO₂-SC: CO₂ supercritical, and EAM: microwave assisted extraction. Source: own elaboration.

Extracción con solventes convencionales

Las antocianinas son compuestos hidrosolubles, por lo tanto, en su extracción se utilizan solventes como agua, etanol, metanol y acetona de manera individual o en mezclas. Existen dos tipos: i) maceración, donde la extracción de sustancias antioxidantes es producto de la liberación de disolvente sin aplicación de calor durante largos periodos de tiempo; ii) extracción con solventes, consiste en separar uno o más componentes contenidos en una fase sólida (solutos) utilizando una fase líquida (disolvente), que al aplicar calor y una variedad de solventes acorta el tiempo de extracción (Bittencourt et al., 2018). La extracción sólido-líquido es el método usual para extraer antocianinas debido al carácter polar que presenta este tipo de molécula. Sin embargo, para garantizar la estabilidad del extracto y su concentración es importante tomar en cuenta la relación sólido-líquido, temperatura, tiempo, tipo y concentración de disolvente, tamaño de partícula y modificación estructural de la molécula con grupos hidroxilo, metoxilo, glucósidos y grupos acilos. De esta manera, se

maximiza la extracción del pigmento minimizando la presencia de compuestos indeseables, así como también se limitan los mecanismos de degradación del extracto. No obstante, la extracción comúnmente se realiza con metanol o etanol y con la adición de ácido (1% HCl 1M o acético), lo cual permite obtener la forma del catión flavilio (estable a pH ácido) (Bittencourt et al., 2018), esto facilitaría la liberación, solubilización y estabilización de antocianinas del tejido de la fruta (Mayer-Miebach et al., 2012). Además, para la extracción de compuestos fenólicos se utiliza una mezcla de agua y alcohol, especialmente etanol con una composición que varía del 40%-70% agua-etanol debido a que los rendimientos de extracción presentan mayor efectividad comparada con la acetona, hexano, acetato de etilo y metanol (Li et al., 2013).

Numerosos estudios sugieren que en los sistemas de extracción de polifenoles utilizando solventes con una variación del 0% a 50% de agua, la actividad oxidasa se retiene y contribuye a la condensación de antocianinas durante la extracción (Zhang et al., 2017). Además, posee asequibilidad económica, es reconocido como seguro y tiene un enfoque en la química verde ya que proviene de una fuente renovable (Machado et al., 2017). Es importante estudiar la relación sólido-solvente considerando que al aumentar la relación se utilizará menos solvente con una mayor concentración de compuestos antioxidantes en el extracto, aunque si se presenta escasez de solvente la transferencia de masa se obstaculiza (Troncoso Mesa et al., 2021). La temperatura juega un papel importante en la extracción ya que, al aumentar este parámetro disminuye el tiempo de extracción y viceversa. Los aumentos de temperatura de 25°C a 40°C en un tiempo de 15 minutos pueden aumentar el rendimiento de la extracción hasta en un 20% debido a la mayor solubilidad de los polifenoles en el solvente, mayor velocidad de difusión de las moléculas extraídas y el mejoramiento de la transferencia de masa (Klavins et al., 2017).

Cabe destacar entonces que con el aumento del contacto entre el disolvente y el tejido vegetal más completa será la difusión de partículas sólidas al líquido hasta alcanzar un equilibrio de partición (Calabuig-Jiménez et al., 2022). La temperatura destaca en función de la acción cooperativa que tiene con el tiempo, es así como al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de extracción y viceversa. Por otra parte, temperaturas de proceso altas (70 a 90°C) podrían causar una disminución del contenido de antocianinas, posiblemente porque se favorecen fenómenos de degradación térmica que en conjunto con la exposición a oxígeno molecular impactan negativamente en el contenido de estos compuestos bioactivos (Holtung et al., 2011). Por ejemplo, se ha reportado que en la extracción de antocianinas de grosellas negras los mejores rendimientos se observaron con temperaturas de 30 a 35°C, observando que temperaturas mayores causan una reducción en el contenido de compuestos fenólicos de los extractos (Bamba et al., 2018). Sin embargo, este comportamiento depende en gran medida de la materia prima y del tipo de solvente empleado, reportándose que al utilizar soluciones etanólicas al 20% y pH 2 para la extracción de residuos de berries, las mejores condiciones de proceso están determinadas por una temperatura de 75°C a un tiempo de extracción de entre 120 y 240 minutos (Diez-Sánchez et al., 2021).

El tipo de solvente impacta en gran medida en la extracción de antocianinas. La literatura indica que el metanol es un 20% más efectivo que el etanol y un 73% más eficiente que el agua en la extracción de antocianinas. (Dos Santos et al., 2021). También se describe que el tipo de ácido utilizado afecta el comportamiento de cada solvente. Por ejemplo el metanol combinado con ácido cítrico es mejor para extracción de antocianinas y la adición de ácido

trifluoroacético conduce a un aumento del rendimiento para la mayoría de solventes con excepción de la acetona (Calabuig-Jiménez et al., 2022). De igual manera, se ha observado que la acidificación de las muestras a extraer favorece el rendimiento del proceso, especialmente cuando se utilizan solventes como etanol, acetona metanol, isopropanol y acetonitrilo (Nilova et al., 2020).

Extracción con tecnologías emergentes

Extracción acelerada con solventes (ASE)

ASE conocida también como extracción con líquidos presurizados es una técnica alternativa que combina temperaturas y presiones en solventes líquidos, por lo tanto, considera parámetros operativos como, presión, temperatura y volumen de solvente sobre el rendimiento y recuperación del extracto (Klavins et al., 2017). Con esta tecnología, una muestra sólida se encuentra encerrada en un cartucho de muestra que se llena con un fluido de extracción y se usa para extraer estáticamente la muestra bajo condiciones moderadas de temperatura (40-100°C), presión (500-3000 psi) y tiempo (5-10 min) (Avram et al., 2017). Además, se usa un gas comprimido para purgar el extracto desde la muestra en la celda en un recipiente de recolección (Kitryté et al., 2020). El uso de disolventes líquidos y temperaturas óptimas debería dar un mejor rendimiento en comparación con extracciones a temperatura ambiente o cerca de ella y presión atmosférica. Esto se explica principalmente por el efecto de la temperatura, presión y solvente.

La temperatura es uno de los parámetros más importantes para este tipo de extracción debido a que la solubilidad del agua en solventes no polares aumenta a temperaturas más altas y permite que el solvente llegue a los analitos situados en los poros de la matriz alimentaria facilitando de esta manera su extracción (Paes et al., 2014). También ayuda al debilitamiento e interrupción de interacciones fuertes entre analitos y componentes de la matriz, es decir, fuerzas de Van der Waals (dipolo-dipolo, dipolo inducido por dipolo y dispersivo) enlaces hidrógeno y atracciones dipolo de las moléculas del soluto y sitios activos de la matriz. Además, provoca una disminución en la viscosidad y la tensión superficial del solvente. Esto permite una mejor penetración en los poros y entre las partículas de la matriz, lo que mejora la transferencia de masa. Ambos cambios facilitan un mejor contacto de los analitos, con el disolvente y mejoran la extracción (Diez-Sánchez et al., 2021). La presión mantiene el solvente en estado líquido a temperaturas por encima del punto de ebullición. Además, mejora la eficiencia de extracción al arrastrar los analitos que han quedado atrapados en los poros de esta matriz haciéndolos disponibles (Machado et al., 2017).

Respecto a los solventes, existen múltiples alternativas para utilizar en ASE. En general, deben evitarse las bases y los ácidos fuertes como disolventes, porque son corrosivos (Machado et al., 2017). La técnica ASE proporciona una oportunidad para el uso de una variedad de solventes, incluso aquellos que no son efectivos en el método convencional, esto es debido a que intervienen parámetros como, la temperatura y ajuste de presión durante el proceso que aumentan el poder solvente (Troncoso Mesa et al., 2021). Diversos estudios exploran los parámetros previamente enunciados. Kitryté, et al. (2020) realizaron extracciones a partir de pomasa de arándanos utilizando como solvente etanol, temperaturas de 50 a 90°C y 3 ciclos de extracción (5-15 min/ciclo) planteando que con este tiempo de extracción con ASE

es posible alcanzar un equilibrio entre las fases sólida y líquida y obtener una mayor recuperación de antocianinas. Una temperatura inferior (40°C) fue utilizada en la extracción de residuos de arándano (*Vaccinium myrtillus* L) por Paes et al. (2014) al aplicar etanol (100%) con un tiempo de 10 min obteniendo igualmente recuperaciones altas desde este tipo de matriz. Esta combinación de condiciones de proceso presenta gran ventaja sobre los otros métodos de extracción a baja presión ya que se mejora la solubilidad de los compuestos de destino en el solvente, además de mejorar la cinética de desorción de matrices sólidas (Avram et al., 2017).

Extracción con CO₂ supercrítico

En los últimos años, la extracción por fluidos supercríticos (EFS), se ha convertido en un método de extracción conveniente por evitar reacciones de degradación de los compuestos fenólicos (Tamkutė et al., 2020). A pesar del elevado costo del equipamiento de esta tecnología se debe hacer una comparación con los costos de gestión si se necesita obtener extractos puros, ya que la EFS además de ofrecer la eliminación de solventes no polares también posibilita la obtención de extractos considerados inocuos para uso como aditivos alimentarios (Laroze et al., 2010). Dentro de la extracción con fluidos supercríticos destaca el uso de CO₂-SC, ya que, en este tipo de extracción, el CO₂ se comporta como un fluido. Así, este fluido supercrítico puede ser un líquido o un gas a temperatura ambiente con una baja viscosidad y un mayor coeficiente de difusión pudiendo alcanzar gran compresibilidad térmica, implicando una separación simple que al cambiar la temperatura o presión genera un solvente con alta potencia que combina las ventajas de destilación y la extracción con líquidos (Paes et al., 2014). Este corresponde a un método no convencional de extracción que utiliza condiciones supercríticas tales como alta temperatura y presión permitiendo elevadas tasas de transferencia de masa, por lo que el tiempo de extracción es menor al conseguido con disolventes líquidos (Machado et al., 2017).

En ciertos casos, los azúcares de las antocianinas están aciladas. Por lo tanto, se espera que la extracción con CO₂ supercrítico a partir de la matriz vegetal permita obtener dicho tipo de moléculas. La molécula de dióxido de carbono es un solvente ideal para este tipo de extracción por presentar baja viscosidad y alta densidad permitiendo mejorar la transferencia de masa en condiciones supercríticas, esta condición se alcanza con temperaturas de 31,06°C, presiones mayores a 70 bar, y una densidad de 0,460 g/cm³ (Tamkutė et al., 2020). En el diagrama de fases del CO₂ se puede observar que entre la fase sólida y líquida existe un equilibrio de fusión, cuya línea inicia en el punto triple donde confluyen los tres estados de la materia, entre el líquido y el gas se encuentra la línea de vaporización que inicia en el punto triple y termina en el punto crítico y la línea de sublimación que divide el gas del sólido. Es entonces en el punto crítico donde el gas y la fase líquida están fusionados formando una fase única, fluida y homogénea conocida como la región supercrítica (Machado et al., 2017). El CO₂ extrae compuestos no polares, por lo que para extraer moléculas polares en este caso antocianinas se debe aumentar su solubilidad con un disolvente polar denominado cosolvente generalmente representado por etanol (Laroze et al., 2010). Para el caso de la extracción de moléculas en arándanos se aumenta el rendimiento y mejora el contenido de antocianinas en los extractos finales, así para la extracción de residuos de arándanos se recomiendan proporciones de hasta el 10% de cosolvente (Paes et al., 2014).

Como se ha mencionado, altas temperaturas podrían acelerar la degradación de las antocianinas en el proceso de extracción. Sin embargo, las técnicas presurizadas permiten la extracción rápida de antocianinas y otros fenólicos a una temperatura $> 50^{\circ}\text{C}$ encontrándose resultados positivos al retardar la degradación de antocianinas durante el procesamiento (Avram et al., 2017). Se debe tomar en cuenta que la proporción de la fracción etanol/agua debe ser soluble en la mezcla supercrítica de presión y temperatura que se ha propuesto. Sin embargo, si se usan proporciones superiores se tendrán dos fases coexistiendo (líquida y supercrítica) afectando al rendimiento y recuperación de antocianinas (Tamkutė et al., 2020). Paes et al. (2014) realizaron estudios para residuos de arándanos estableciendo como condiciones óptimas una temperatura de 40°C y 200-210 bar utilizando etanol acuoso como cosolvente (Paes et al., 2014). A su vez, Laroze et al. utilizaron un rango de presión más amplio (80-300 bar) junto a una temperatura de proceso de 60°C , observando los mejores rendimientos de extracción de residuos de arándanos y mora a 200 bar y a 250 bar para el caso de residuos de cranberry (Laroze et al., 2010).

Para residuos de cranberry la información más reciente indica que no solo es posible la obtención de polifenoles a partir de estas materias primas, sino que mediante el fraccionamiento de los extractos obtener compuestos de naturaleza lipofílica como escualeno, fitosteroles y tocoferoles, lo que indica la gran versatilidad de esta tecnología dependiendo de la combinación de variables de proceso utilizadas (Tamkutė et al., 2020).

Extracción asistida con ultrasonido (EAU)

La EAU es ampliamente utilizada en la industria alimentaria (Hu et al., 2019). La EAU favorece la penetración de disolventes y la transferencia de masa, reduciendo de esta manera el uso de productos químicos y temperatura de proceso, aumentando la tasa de extracción y aumentando el rendimiento del extracto (Xue et al., 2020). En este procedimiento, las frecuencias de ultrasonido facilitan la hidratación de la matriz a extraer permitiendo de esta manera la liberación de compuestos, ya que, conduce al agrandamiento de los poros de la pared celular, es decir, colapsa las paredes celulares vegetales debido a las burbujas de cavitación durante la extracción promoviendo la transferencia de masa (Dos Santos et al., 2021). La EAU presenta ventajas como su facilidad de uso, utilización de cantidades reducidas de solventes, bajo costo del proceso, bajo consumo energético, bajo nivel de mantención de los equipos, amplia disponibilidad, factibilidad de escalar y producción de un extracto seguro para la ingesta humana. Mas como desventaja presenta altos costos de su equipamiento (He et al., 2016). Las frecuencias del ultrasonido se dividen en dos bandas, una de baja potencia de ultrasonido que considera una baja amplitud y alta frecuencia (100-1000 kHz) o ultrasonido de alta potencia que por el contrario utiliza una alta amplitud y baja frecuencia (20-100 kHz) (Klavins et al., 2017).

Es importante considerar que los fenómenos cavitacionales podrían causar una elevación de la temperatura (70°C en reactores refrigerados) debido a la combinación que se genera con los microchorros de fluido más la destrucción de burbujas de aire en la superficie celular provocado por el ultrasonido (Holtung et al., 2011). Algunos autores mencionan que el efecto de sonicación a frecuencias bajas (20 kHz) son suficientes para extraer antocianinas ya que frecuencias más altas podrían causar degradación de estos compuestos. Por otro lado, se ha reportado que el tamaño de partícula al someterse a tratamientos de sonicación resulta en una menor viscosidad aparente, especialmente en arándanos (Bamba et al., 2018).

En este tipo de extracción el tiempo es considerado un parámetro de importancia ya que, se ha observado que largos tiempos de proceso podrían disminuir la actividad antioxidante probablemente debido al efecto del ultrasonido y al aumento de temperatura causado por las altas frecuencias aplicadas (Hu et al., 2019). Por ejemplo, Dos Santos et al. reportaron que luego de 45 minutos de extracción de residuos de arándanos o de frambuesa, los extractos obtenidos por EAU tenían 1,4 veces la capacidad antioxidante y 1,6 veces el contenido de polifenoles totales en relación con extractos obtenidos por métodos convencionales (Dos Santos et al., 2021).

En forma similar, se ha descrito que durante la extracción por EUA de residuos de arándanos en condiciones de proceso de 25°C, 30 min de extracción y uso metanol puro permitieron obtener extractos con un alto contenido de antocianinas totales (12,49 mg/g). Sin embargo, este estudio indica que las antocianinas individuales pueden ver afectado su contenido en mayor medida que las antocianinas totales (Hu et al., 2019). Xue et al. (2020) utilizaron una temperatura de proceso superior (55°C) durante 40 min y con una mezcla de solvente con 29% de agua. Posteriormente aplicaron el extracto purificado sobre cultivos celulares HepG2 y evaluaron su actividad antitumoral, reportando una mejora en esta actividad en el extracto puro comparado con el extracto purificado (92.81% de cianidina-3-rutinósido). Estos promisorios resultados indican el potencial que tienen los extractos de residuos de arándanos como una alternativa viable para el desarrollo de ingredientes funcionales, aunque debe seguir investigándose para robustecer la evidencia científica que sustenta estos efectos (Xue et al., 2020).

Conclusión

Los compuestos fenólicos se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal (frutas, bayas y flores). Al considerarse beneficiosos para la salud humana actualmente hay un crecimiento importante en el mercado de alimentos funcionales que incorporan estos compuestos con el fin de prevenir enfermedades crónicas no transmisibles. Una fuente emergente de estos compuestos son los residuos de la agroindustria. Destacan los residuos de arándano, ya que tienen un alto contenido de compuestos fenólicos, especialmente de antocianinas. A partir de dichos subproductos, es posible extraer los compuestos bioactivos para su utilización en la industria alimentaria. Por lo tanto, se debe tomar en consideración el tipo de extracción que se aplicará y conocer las condiciones de extracción (tipo y concentración de solvente, pH, temperatura, tiempo, etcétera), ya que el contenido de compuestos bioactivos en el extracto depende de qué tan bien se conservan y la estabilidad de los compuestos cuando son sometidos a diversas tecnologías. Es importante mencionar que, aunque existe una amplia investigación sobre este tema es fundamental identificar las condiciones óptimas de extracción para cada fruto o matriz vegetal para maximizar la recuperación de compuestos bioactivos y su potencial revalorización. De esta manera, la extracción convencional ha sido una técnica ampliamente utilizada para la extracción de compuestos antioxidantes. Sin embargo, las nuevas tecnologías son consideradas más respetuosas con el medio ambiente debido a la reducción de la cantidad de solventes y requerimiento de energía, por lo que su uso es recomendado. Destacan la ASE y EAU, siendo su uso es más conveniente para maximizar el contenido de polifenoles en las extracciones de residuos de arándanos en comparación con el método convencional.

Bibliografía

- Avram, A., Morin, P., Brownmiller, C., Howard, L.R., Sengupta, A. y Wickramasinghe, S.R. (2017). Concentrations of Polyphenols from Blueberry Pomace Extract Using Nanofiltration. *Food and Bioproducts Processing*, 106, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.006>
- Bamba, B., Shi, J., Tranchant, C., Xue, S.J., Forney, C.F. y Lim, L. (2018). Influence of Extraction Conditions on Ultrasound-assisted Recovery of Bioactive Phenolics from Blueberry Pomace and their Antioxidant Activity. *Molecules*, 23(7), 1-17. <https://doi.org/10.3390/molecules23071685>
- Bittencourt, L., Silva, K.A., de Sousa, V.P., Fontes-Sant'Ana, G.C. y Rocha-Leão, M.H. (2018). Blueberry Residue Encapsulation by Ionotropic Gelation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(4), 278-286. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0685-y>
- Calabuig-Jiménez, L., Hínestroza-Córdoba, L.I., Barrera, C., Seguí, L. y Betoret, N. (2022). Effects of Processing and Storage Conditions on Functional Properties of Powdered Blueberry Pomace. *Sustainability*, 14(3), 1839. <https://doi.org/10.3390/su14031839>
- Diez-Sánchez, E., Quiles, A. y Hernando, I. (2021). Use of Berry Pomace to Design Functional Foods. *Food Reviews International*, 1, 1-21. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2010217>
- Dos Santos, S.S., Paraíso, C.M., Rodrigues, L.M. y Madrona, G.S. (2021). Agro-industrial Waste as a Source of Bioactive Compounds: Ultrasound-assisted Extraction from Blueberry (*vaccinium myrtillus*) and Raspberry (*rubus idaeus*) Pomace. *Acta Scientiarum-Technology*, 43, 1-8. <https://doi.org/10.4025/ACTASCITECHNOL.V43I1.55567>
- Flores, F.P., Singh, R.K. y Kong, F. (2014). Physical and Storage Properties of Spray-Dried Blueberry Pomace Extract with Whey Protein Isolate as Wall Material. *Journal of Food Engineering*, 137, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.034>
- He, B., Zhang, L.L., Yue, X.Y., Liang, J., Jiang, J., Gao, X.L. y Yue, P.X. (2016). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds and Anthocyanins from Blueberry (*Vaccinium ashei*) Wine Pomace. *Food Chemistry*, 204, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.094>
- Holtung, L., Grimmer, S. y Aaby, K. (2011). Effect of Processing of Black Currant Press-residue on Polyphenol Composition and Cell Proliferation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3632-3640. <https://doi.org/10.1021/jf104427r>
- Hu, W., Gong, H., Li, L., Chen, S. y Ye, X. (2019). Ultrasound Treatment on Stability of Total and Individual Anthocyanin Extraction from Blueberry Pomace: Optimization and Comparison. *Molecules*, 24(14), 2621. <https://doi.org/10.3390/molecules24142621>

- Kitrytė, V., Kavaliauskaitė, A., Tamkutė, L., Pukalskienė, M., Syrpas, M. y Rimantas Venskutonis, P. (2020). Zero Waste Biorefining of Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) Pomace into Functional Ingredients by Consecutive High Pressure and Enzyme Assisted Extractions with Green solvents. *Food Chemistry*, 322, 126767.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126767>
- Klavins, L., Kviesis, J. y Klavins, M. (2017). Comparison of Methods of Extraction of Phenolic Compounds from American Cranberry (*Vaccinium macrocarpon* L.) Press Residues. *Agronomy Research*, 15(Special Issue 2), 1316-1329.
- Kurek, M., Garofulić, I.E., Bakić, M.T., Ščetar, M., Uzelac, V.D. y Galić, K. (2018). Development and Evaluation of a Novel Antioxidant and pH Indicator Film Based on Chitosan and Food Waste Sources of Antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 84, 238-246.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.050>
- Laroze, L.E., Díaz-Reinoso, B., Moure, A., Zúñiga, M.E. y Domínguez, H. (2010). Extraction of Antioxidants from Several Berries Pressing Wastes Using Conventional and Supercritical Solvents. *European Food Research and Technology*, 231(5), 669-677.
<https://doi.org/10.1007/s00217-010-1320-9>
- Li, C., Feng, J., Huang, W.Y. y An, X.T. (2013). Composition of Polyphenols and Antioxidant Activity of Rabbiteye Blueberry (*Vaccinium ashei*) in Nanjing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(3), 523-531. <https://doi.org/10.1021/jf3046158>
- Machado, A., Pereira, A., Barbero, G. y Martínez, J. (2017). Recovery of Anthocyanins from Residues of *Rubus Fruticosus*, *Vaccinium myrtillus* and *Eugenia brasiliensis* by Ultrasound Assisted Extraction, Pressurized Liquid Extraction and their Combination. *Food Chemistry*, 231, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.060>
- Mayer-Miebach, E., Adamiuk, M. y Behnlian, D. (2012). Stability of Chokeberry Bioactive Polyphenols During Juice Processing and Stabilization of a Polyphenol-rich Material from the By-product. *Agriculture (Switzerland)*, 2(3), 244-258.
<https://doi.org/10.3390/agriculture2030244>
- Nilova, L., Ikramov, R. y Malyutenkova, S. (2020). The Possibility of Using Microwaves to Obtain Extracts from Berry Press Residues and Jelly Products with Bioactive Characteristics. *Agronomy Research*, 18(Special Issue 3), 1829-1843.
<https://doi.org/10.15159/AR.20.044>
- Paes, J., Dotta, R., Barbero, G. y Martínez, J. (2014). Extraction of Phenolic Compounds and Anthocyanins from Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Residues Using Supercritical CO₂ and Pressurized Liquids. *Journal of Supercritical Fluids*, 95, 8-16.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.07.025>
- Struck, S., Plaza, M., Turner, C. y Rohm, H. (2016). Berry Pomace — A Review of Processing and Chemical Analysis of its Polyphenols. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1305-1318. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13112>

- Tagliani, C., Pérez, C., Curutchet, A., Arcia, P. y Cozzano, S. (2019). Blueberry Pomace, Valorization of an Industry By-product Source of Fibre with Antioxidant Capacity. *Food Science and Technology*, 39(3), 644-651. <https://doi.org/10.1590/fst.00318>
- Tamkutė, L., Pukalskas, A., Syrpas, M., Urbonavičienė, D., Viškelis, P. y Venskutonis, P.R. (2020). Fractionation of Cranberry Pomace Lipids by Supercritical Carbon Dioxide Extraction and On-line Separation of Extracts at Low Temperatures. *Journal of Supercritical Fluids*, 163, 104884. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104884>
- Troncoso Mesa, S., Flórez-Méndez, J., López, J. y Bustos, R. (2021). Optimization of Conventional Solid-liquid Extraction and Microwave-assisted Extraction of Polyphenols and Antioxidant Compounds of Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Pomace through Response Surface Methodology. *Journal of Berry Research*, 11(4), 649-668. <https://doi.org/10.3233/JBR-210007>
- Xue, H., Tan, J., Li, Q., Tang, J. y Cai, X. (2020). Ultrasound-Assisted Deep Eutectic Solvent Extraction of Anthocyanins from Blueberry Wine Residues: Optimization, Identification, and HepG2 Antitumor Activity. *Molecules*, 25(22), 5456. <https://doi.org/10.3390/molecules25225456>
- Zhang, H., Tchabo, W. y Ma, Y. (2017). Quality of Extracts from Blueberry Pomace by High Hydrostatic Pressure, Ultrasonic, Microwave and Heating Extraction: A Comparison Study. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(10), 815-819. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i10.1259>