

Artículo de revisión

TECNOLOGÍAS ECOEFICIENTES PARA LA VALORACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN FRUTAS Y HORTALIZAS

ECO-EFFICIENT TECHNOLOGIES FOR THE VALUATION OF AGRO-
INDUSTRIAL WASTE IN FRUITS AND VEGETABLES

Marianne Hilda Cornejo Figueroa¹
Raul Cartagena Cutipa²
Sylvia Carolina Alcázar Alay³

Información del artículo:

Recibido: 10/06/2020

Aceptado: 25/06/2020

¹ Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada de Tacna (UPT). E-mail: marianne301096@gmail.com

² Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Privada de Tacna (UPT). E-mail: raulcart@hotmail.com, raulcartagenac@upt.pe

³ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG). E-mail: sylviaalcazar@gmail.com, salcazara@unjbg.edu.pe

Resumen

El creciente desarrollo de tecnologías ecoeficientes para la obtención de biocompuestos activos está teniendo cada vez mayor impacto en la industria de productos alimentarios y no alimentarios los cuales un objetivo en particular, la extracción de metabolitos activos a partir de la matriz vegetal de diversos residuos naturales de frutas y hortalizas, contribuyendo así, con la salud y el manejo de metodologías que son respetuosas con el medio ambiente pues procuran emplear solventes que generen menor impacto en la contaminación del mismo. Es así que el estudio de estas tecnologías como la Extracción con agua subcrítica, Extracción asistida por microondas, Extracción con fluidos supercríticos, pretenden optimizar sus procesos unitarios para lograr ser más eficientes y sostenibles, obteniendo mayor pureza y rendimiento en la obtención de extractos bioactivos controlando parámetros en las propiedades fisicoquímicas de los propios solventes en uso. También están las prácticas que permiten la reinsertión de residuos naturales mediante su aprovechamiento a partir de su origen biológico, así como lo son la Fermentación de sustrato sólido en biorreactores y el Desarrollo de biopelículas por compresión térmica para la generación de nuevos productos con valor agregado.

Palabras clave: Agua subcrítica; biocompuestos activos; metabolitos; fluidos supercríticos; biopelículas.

Abstract

The increasing development of eco-efficient technologies for obtaining active biocompounds is having more impact on the food and non-food products industry, which has a particular objective, the extraction of active metabolites from the plant matrix of various natural residues of fruits and vegetables. Contributing to health and the use of methodologies that are respectful with the environment, since they try to use solvents that generate less impact on its contamination. Thus, the study of these technologies such as Extraction with subcritical water, Extraction assisted by microwaves, Extraction with supercritical fluids, seek to optimize their unit processes to be more efficient and sustainable, obtaining greater purity and performance in obtaining bioactive extracts by controlling parameters in the physicochemical properties of the solvents themselves in use. There are also practices that allow the reinsertion of natural waste through its use from its biological origin, as well as the Fermentation of solid substrate in bioreactors and the development of biofilms by thermal compression for the generation of new products with added value.

Key words: Active biocompounds; metabolites; subcritical water; supercritical fluids; biofilms.

1. Introducción

Los procesos agroindustriales generan naturalmente una gran cantidad de residuos sólidos y líquidos; en su mayoría, estos se descartan en el medio ambiente, causando que la contaminación genere una alta demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO), por lo tanto, la reinserción en la cadena productiva y la valorización de estos es un tema interesante de abordar en los últimos años (Lin et al., 2013). La ciencia hoy en día se ha centrado en el estudio de compuestos bioactivos presentes en tales desechos, ya sea: cáscaras; corteza; semillas y hojas, especialmente en las que provienen de la industria de procesamiento de frutas y verduras, ya que tienen una fuente importante de antioxidantes en comparación con la cantidad presente en la parte comestible (Can-Cauch et al., 2017). Estas moléculas son muy valiosas, por lo cual se proponen diversos estudios con tecnologías que sugieren optimizar los procesos que comprenden su extracción.

La aplicación de metodologías, que a su vez combinan su afinidad con la conservación del medio ambiente, tiene un valor aún mayor porque optimizan la gestión de los residuos agroindustriales. Algunas de estas tecnologías ecoeficientes son la extracción asistida por microondas (MAE), la extracción con fluidos supercríticos (SFE), la extracción con agua subcrítica (SAE) (Routray y Orsat, 2013). Las ventajas de estas tecnologías en particular radican en su eficiencia debido a sus tiempos de extracción más cortos, costos y reducción de solventes orgánicos, además de los altos rendimientos en la optimización de sus procesos y la poca o casi ninguna contaminación ambiental. De la misma manera, estas técnicas pueden adaptarse a pequeña o gran escala, además de realizarse incluso con menos requisitos instrumentales (Azabou et al., 2016; Socaci et al., 2017).

2. Objetivos

El artículo tiene como objetivo hacer una revisión exhaustiva de tecnologías ecoeficientes para la valoración de residuos agroindustriales en frutas y hortalizas

3. Desarrollo

3.1 Extracción de biocompuestos

Los biocompuestos presentes en frutas y verduras tienen un alto potencial biológico que se centra en la salud, ya que se conocen estudios de extracción de compuestos fenólicos, carotenoides, antocianinas, flavonoides, tocoferoles, entre otros (Amarowicz y Weidner, 2009). Metabolitos que, por su capacidad antioxidante, previenen la oxidación de lípidos y proteínas, al mismo tiempo, retrasan la degeneración del ADN y protege compuestos o tejidos que podrían ser dañados por el oxígeno o los radicales libres (Ballard, Mallikarjunan, Zhou, & O'Keefe, 2010). Por lo tanto, muchos de los problemas de salud podrían evitarse, ya que hoy en día la importancia radica principalmente en la prevención más que en la cura de diversas enfermedades relacionadas con la alteración celular (Lucchesi, Chemat, y Smadja, 2004). Además de tener una gran capacidad antioxidante, estos compuestos también tienen características nutracéuticas y antimicrobianas, lo que aumenta su valor e interés en poder recuperar estos biocompuestos y así no perder su gran contribución en la industria farmacéutica e incluso su reinserción en la cadena productiva (Sultana, Anwar, y Ashraf, 2009). Los productos alimenticios y no alimenticios están en constante desarrollo y crecimiento dentro de los centros de investigación.

Existen varios métodos convencionales de extracción, mediante la aplicación de tecnologías que controlan parámetros tales como: temperatura; presión; humedad; cantidad de solvente de

extracción que se utilizará, entre otros (Farías-Campomanes, Rostagno, y Meireles, 2013). Todos estos mencionados se evalúan para obtener un grado de biocompatibilidad con la naturaleza de los desechos naturales donde, además, se deben determinar los compuestos bioactivos de interés para seleccionar el método de extracción que mejor se adapte a las condiciones que se presentan. Es por eso que la importancia de las tecnologías de extracción más eficientes también radica en cuán inocuos son con el medio ambiente, ya que, al aprovechar estos desechos agroindustriales, no solo recuperamos compuestos bioactivos de interés, sino que también contribuimos con la reducción de la contaminación ambiental. En términos de eficiencia, existen varios métodos clásicos para la extracción de biocompuestos por tiempo reducido; bajo costo; altos rendimientos, pureza, entre otros (Ballard et al., 2010; Hao, Han, Huang, Xue, & Deng, 2002; Lucchesi et al., 2004).

3.2 Generación de nuevos productos de residuos agroindustriales

Además de la extracción de compuestos bioactivos, también podemos valorar estos residuos con la generación de nuevos productos; contando así, con la tecnología de fermentación de sustrato sólido en biorreactores para la producción de enzimas como biocatalizadores, entre otros analitos, y la formación de biopelículas aplicando tecnología de termocompresión. Ambas tecnologías incluyen las líneas de investigación dentro de la biotecnología y el estudio de biopolímeros, respectivamente. Estos procesos tienen la característica de permanecer como sistemas cerrados, por lo tanto, no interactúan directamente con el medio ambiente y trabajan modificando los parámetros de control sin alterar sus salidas, generar producción tóxica o dañina para el medio ambiente. Las condiciones de trabajo que presentan están adaptadas a estas tecnologías ecológicas, donde se aprovechan residuos naturales dándoles un valor agregado y haciendo uso de su composición para obtener ciertos productos que se desean a partir de una planificación en las operaciones unitarias que serán llevado a cabo.

El almidón presente en los residuos de la matriz vegetal puede generar la producción de polímeros, y al ser materia orgánica, las películas en formación tienen características biodegradables; es por ello que existen diferentes estudios que sugieren que, una forma de mejorar la resistencia de estas biopelículas es modificando los parámetros en la metodología de termocompresión. A este proceso se le pueden agregar residuos de frutas o vegetales, lo que da lugar a un amplio campo de estudio mediante la inserción de matriz vegetal para analizar cómo influye en la caracterización de estas películas biodegradables. Se evalúan diferentes factores como la resistencia; permeabilidad; color; flexibilidad; capacidad hidrofílica y antioxidante (dependiendo de la naturaleza de la matriz vegetal añadida); así como su pH de inmersión para determinar su disposición como embalaje inteligente. En la evaluación de las películas de postcompresión, se analiza si hay una reducción en la humedad y el intercambio de gases; asimismo, la respiración de vegetales mínimamente procesados en el empaque representa una velocidad de reacción oxidativa, y lo que se desea es evitar trastornos metabólicos que alteren las características organolépticas de la materia prima a recubrir o empaquetar. De acuerdo con (Andretta, Luchese, Tessaro, y Spada, 2019), debido al contacto de la película con un producto alimenticio, es importante evaluar una posible migración de algunos compuestos químicos del empaque al alimento, asegurando así que el nuevo producto es seguro para un correcto proceso de fabricación.

La tecnología que comprende la metodología para la fermentación de sustrato sólido en biorreactores explica el uso de microorganismos para lograr nuevos análisis deseados a partir de la naturaleza del material utilizado. Muchas veces estos residuos se aíslan para que otros microorganismos no interfieran en la acción de producción del biocatalizador, ya que en estos procesos de fermentación de sustratos sólidos se pueden usar hongos, bacterias o levaduras de diversos orígenes y del tipo que se requiere (Lizardi-Jiménez y Hernández-Martínez, 2017). Estos residuos también deben seleccionarse adecuadamente, ya que en algunos casos solo se utilizará la cáscara o las semillas. También se determinarán los valores de los parámetros a controlar, que son:

temperatura pH; presión; humedad; concentración de inóculo, y se determina si el proceso será aeróbico o anaeróbico. Todas estas condiciones se deciden por el tipo de microorganismo que se utilizará, siguiendo los requisitos presentes para poder cumplir su función dentro del biorreactor y así producir enzimas, entre otras moléculas de interés (Coradi et al., 2013).

La tabla 1 muestra los biocompuestos activos que se pueden extraer de un determinado residuo agroindustrial mediante la aplicación de un método o tecnología de acuerdo con el tipo de compuesto que desea obtener.

Tabla 1

Biocompuestos de residuos agroindustriales y sus respectivos métodos de extracción

Compuestos bioactivos	Residuo agroindustrial	Tecnología o método	Autor
<i>Polisacáridos</i>	Cáscara de cítricos y orujo de manzana	SAE	(Wang, Chen, y Lü, 2014)
	Cáscara de naranja	MAE	(Prakash Maran, Sivakumar, Thirugnanasambandham, y Sridhar, 2013)
	Cáscara de pomelo	MAE	(Quoc et al., 2015)
	Cáscara de maracuyá	MAE	(Seixas et al., 2014)
<i>Lípidos, ácidos grasos</i>	Semillas de uva	SFE, CO2	(Prado et al., 2012)
<i>Polifenoles</i>	Piel de cebolla (subproducto)	SAE	(Ko, Cheigh, Cho, y Chung, 2011)
	Subproducto de piel de maní	SFE CO2	Ballard et al. (2010)
	Orujos de frutas del bosque	MAE	(Laroze, Soto, y Zúñiga, 2010)
	Pulpa de manzana	EAU	(Pingret, Fabiano-Tixier, Bourvellec, Renard, y Chemat, 2012)
	Semillas de uvaApple and peach pomace	SAE	(Agostini et al., 2012) Adil et al. (2007)
<i>Carotenoides</i>	Semillas de espinilloTomato pomace and skin	SFE CO2	(Kagliwal, Patil, Pol, Singhal, y Patravale, 2011) Yi et al. (2009)
	Cáscara de naranja	EAU	

Nota. MAE, extracción asistida por microondas; EAU, extracción asistida por ultrasonido; SFE, extracción con fluidos supercríticos; y SAE, extracción con agua subcrítica. Fuente: elaboración propia (2019).

3.3 Extracción De Agua Subcrítica (SCW)

La tecnología de extracción de agua subcrítica (SCW) incluye el uso de agua a presión, ya que se lleva a condiciones de alta temperatura y presión. La extracción de agua subcrítica es uno de los métodos novedosos donde se aplica agua a alta temperatura (entre 100 y 374 ° C) mientras se induce a presiones por debajo de las condiciones supercríticas (normalmente de 10 a 100 bar) (Haghighi & Khajenoori, 2013). Su composición química sufrirá cambios internos en la estructura, aumentando así su difusividad, lo que hace que la extracción sea más efectiva, aumenta el

rendimiento y reduce el tiempo y la energía. La extracción de agua subcrítica (SWE) también se conoce como extracción de agua caliente a presión o extracción de agua de baja polaridad a presión (PLPW) (Carabias-Martínez, Rodríguez-Gonzalo, Revilla-Ruiz, y Hernández-Méndez, 2005). La extracción generalmente toma de 5 a 30 minutos cuando se usa solo agua destilada (ejemplo, Milli-Q) como solvente (Klingberg et al., 2008). La constante dieléctrica (ϵ) del agua disminuye significativamente para el agua por encima del punto de ebullición (Hawthorne et al., 1994). El agua tiene enlaces de hidrógeno muy fuertes, pero los enlaces de hidrógeno se rompen a temperaturas superiores a la temperatura sobrecalentada. Esta metodología está integrada en el marco de la química verde, ya que hay muchas ventajas, principalmente para reducir los costos en el tratamiento de efluentes, ya que no hay componentes orgánicos volátiles (COV) que normalmente emanan hacia el medio ambiente. Un estudio realizado por Borregón y Rojo (2015); llamado "Extracción de curcuminoides con agua subcrítica" realizó extracciones en diferentes tiempos (5-120 minutos) y temperaturas (100-200 °C), con la presión suficiente para garantizar el agua líquida, donde el rendimiento de extracción se calcula en referencia al porcentaje de total extraído en masa y análisis por HPLC y DPPH. Los resultados obtenidos muestran un rendimiento máximo de extracción (70%) aplicando una temperatura de 175 °C en cualquier intervalo de tiempo entre 5 y 120 minutos. La mayor concentración de curcuminoides en el extracto se obtuvo a 100 °C y 120 min (19.53mg / g), mientras que la mayor cantidad de curcuminoides extraídos de la cúrcuma se obtuvo a 125 °C y 30 minutos (10.2mg / g). Las extracciones con la mayor capacidad antioxidante fueron aquellas a 200 °C y 60 minutos o más (18% de inhibición).

Otro estudio realizado por Tunchaiyaphum, Eshtiaghi, y Yoswathana (2013) llamado "Extracción de compuestos bioactivos de las cáscaras de mango usando tecnología verde", donde se investigó la extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de mango usando SCW. Los experimentos se llevaron a cabo a temperaturas que oscilan entre 160 y 220 ° C, en un tiempo de extracción de 30 a 120 min., con tamaños de partículas de material de malla de 30 a 70, sólidos en una relación de agua de 1:10 a 1:50 y pH de la solución de 2 a 8. El mayor contenido fenólico se obtuvo 50,25 mg de GAE/g DW en la condición siguiente: 180 ° C, 90 min, relación sólido/agua como 1:40 y pH 4. La cantidad de compuestos fenólicos de mango obtenidos por exfoliación con extracción SCW fueron más altos que los de la metodología Soxhlet en el tiempo de extracción 60 min como 1,5 veces.

El estudio también indica que el agua subcrítica es una técnica más ventajosa para extraer ciertos compuestos fenólicos que la extracción con solvente convencional además de ser más respetuosa con el medio ambiente (Kheirkhah, Baroutian, y Quek, 2019).

3.4 Extracción asistida por microondas (MAE)

Este método de extracción es ampliamente conocido y se utiliza para obtener pectina, polisacárido extraído de material vegetal, y ciertos compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante como el ácido ascórbico, ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido ferúlico o incluso en la producción de metano a partir de ciertos desechos agroindustriales (Singh et al., 2011). En la industria de la pectina, hablamos también de descartes de cáscaras de frutas como naranja, toronja y maracuyá; todas estas frutas en mención contienen pectina en la pared celular de la matriz vegetal que encontramos en las cáscaras. La pectina, al mismo tiempo, se usa como aditivo en la industria alimentaria, ya que actúa como espesante y agente gelificante (Willats, Knox, y Mikkelsen, 2006); o como un medicamento en la industria farmacéutica donde sus usos médicos son para contrarrestar la diarrea, desintoxicar y reducir la glucosa en la sangre (Voragen et al., 1995). Otras aplicaciones incluyen sustitutos de grasa en productos para untar, aderezos para ensaladas, helados y productos cárnicos emulsionados (Liu, Shi, y Langrish, 2006).

La forma de extracción asistida por microondas implica el uso de solventes que pueden ser diversos para seleccionar. La extracción de pectina generalmente usa dos tipos de solventes: solvente de ácido inorgánico como el ácido clorhídrico, sulfúrico o nítrico y solvente de ácido orgánico tal como ácido oxálico, tartárico o acético; todos usan calefacción tradicional; sin embargo, está comprobado que la extracción por microondas acorta el tiempo de extracción de pectina, también reduce el consumo de solventes y mayores rendimientos que el método convencional (Seixas et al., 2014).

Un estudio de Seixas et al. (2014) llamado "Extracción de pectina de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*) por calentamiento inducido por microondas", se realizó con tres tipos de ácidos utilizados como solventes (ácido tartárico, acético y nítrico). Los resultados indican que el tiempo de exposición y la potencia de microondas afectan significativamente el rendimiento de la extracción de pectina con ácido cítrico y tartárico. Los mayores rendimientos se obtuvieron cuando se usaron los niveles más altos de potencia y tiempo a 628 W y 9 min. En estas condiciones, el rendimiento de pectina obtenido con los ácidos nítrico y acético fueron 13 y 12,9%, respectivamente. El ácido tartárico emergió como el mejor agente de extracción en términos de rendimiento (18,2%), sin embargo, la pectina obtenida exhibió baja pureza y baja esterificación. En otro estudio realizado por Prakash Maran, Sivakumar, Thirugnanasambandham y Sridhar (2013), en los que se extrajo la pectina de las cáscaras de naranja secas, la cantidad de pectina extraída aumentó con el aumento de la potencia de microondas, mientras que con el tiempo el pH es reducido y la relación sólido-líquido aumentó considerablemente.

Otro estudio de Singh (2010), titulado "Optimización de la extracción asistida por microondas de antioxidantes de las cáscaras de papa", donde se investigó el efecto de la extracción asistida por microondas (MAE) en la recuperación de compuestos fenólicos de las cáscaras de papa. Se obtuvieron contenidos óptimos para el peso seco fenólico total 3,94 mg g⁻¹ (DW) con una concentración de solvente de 67,3 % (v / v), un tiempo de extracción de 15 minutos y un nivel de potencia de microondas de 14,7 % (102 W), contenido máximo de ácido ascórbico (1,44 mg g⁻¹ DW), ácido cafeico (1,33 mg g⁻¹ DW) y ácido ferúlico (0,50 mg g⁻¹ DW) se obtuvieron con una concentración de disolvente del 100% (v / v), tiempo de extracción de 15 minutos y nivel de potencia del 10 % (63 W). Un estudio realizado por Pellerá y Gidaracos (2017) titulado "Pretratamiento por microondas de los residuos agroindustriales lignocelulósicos para la producción de metano", se centró en el uso del calentamiento por microondas como pretratamiento para los desechos agroindustriales lignocelulósicos antes de la digestión anaerobia para la producción de metano. Se investigaron cuatro materiales, residuos de almacén; material de algodón desmotado; orujo de oliva y residuos de la industria del jugo de frutas. El pretratamiento a 125-150 ° C produce muestras más adecuadas para el metano.

Đurđević et al., (2017) realizaron un estudio realizado en Belgrado. El autor sugirió la radiación de microondas como técnica de pretratamiento para aumentar el rendimiento del aceite de semilla de granada. Las semillas se pre trataron a 100, 250 y 600 W durante 2 y 6 minutos y luego se extrajeron con *sc* - *CO*₂ en la unidad de alta presión, así como por n-hexano en el aparato Soxhlet. Incluso en el tratamiento de microondas más bajo, los parámetros de tratamiento previo aplicados (100 W durante 2 min) aumentaron el rendimiento del aceite de semilla obtenido por extracción en técnicas comparadas con semillas no tratadas (de 27,7 a 34,0 % y de 21,6 a 25,5 % para Soxhlet y *sc* - *CO*₂). El rendimiento máximo de aceite en la extracción Soxhlet (36,3 %) se obtuvo con microondas radiación de 600 W durante 6 min, mientras que para la extracción de *sc* - *CO*₂ el rendimiento máximo de aceite (27,2 %) fue de 250 W durante 6 min. La composición cualitativa y cuantitativa de los ácidos grasos de los obtenidos del aceite se determinaron mediante cromatografía de gases / detección de ionización de llama y cromatografía de gases / masa. El ácido púnic fue el ácido graso más abundante en el aceite de semilla de granada (>60 %).

3.5 Extracción con fluidos supercríticos (CO2)

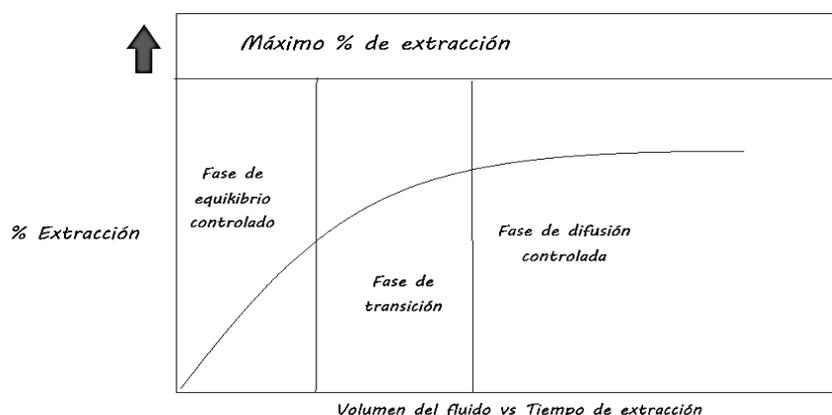
Un fluido supercrítico (SCF) tiene una densidad similar a la fase líquida del mismo compuesto, lo que le permite tener una solvatación líquida. La viscosidad entre gas y líquido y la difusividad del gas permiten una mayor transferencia de masa entre el soluto extraído y el SCF (Krukonis, 2013). Un SCF permite la extracción de compuestos solubles de matrices insolubles (Brunner, 2005).

Los parámetros a controlar serán temperatura, tiempo y presión; es importante conocer el tipo de metabolito de extracción, ya que conociendo sus características podemos optimizar estos parámetros en particular (Reverchon y De Marco, 2006). Las condiciones de temperatura y presión se dan al fluido supercrítico antes de ingresar al extractor. En el caso de compuestos no polares, tenemos aceites esenciales, ácidos grasos, ácidos orgánicos. También encontramos carotenoides que requieren un codisolvente debido a la diferente polaridad de los carotenoides (carotenos y xantofilas); y los tocoferoles.

En el caso de la extracción con CO2 puro, las extracciones pueden ser más selectivas para compuestos no polares optimizando la presión y la temperatura. Así mismo el tiempo de extracción tendrá un curso de actividad que generará una curva en cuanto a la obtención de biocompuestos. Esta curva nos permitirá conocer la relación másica entre el volumen del solvente en las horas de extracción y el porcentaje de producto extraído (ver Fig. 1).

Figura 1

Curso de un fluido supercrítico (SCF)

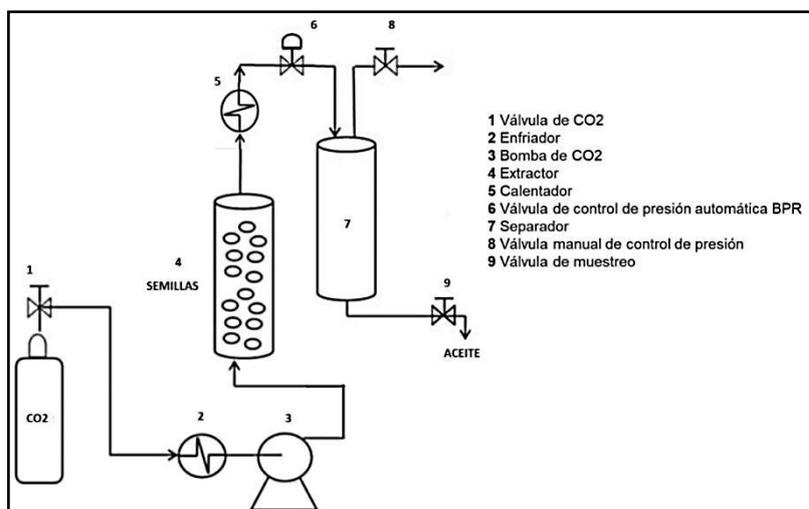


Nota. Elaboración propia (2020)

Así mismo se pueden extraer metabolitos de alto valor con alto rendimiento de pequeñas cantidades de muestra de materia prima residual y con el manejo adecuado de los parámetros (Esquivel-Hernández et al., 2017). El proceso extracción con fluidos supercríticos (SFE) incluye los siguientes pasos para la extracción: (i) el sustrato sólido absorbe solvente supercrítico, lo que promueve la expansión de la estructura celular; Esto facilita el flujo de disolvente al reducir la resistencia a la transferencia de masa. (ii) Simultáneamente, los compuestos solubles se disuelven en el disolvente; (iii) los compuestos disueltos se transfieren por difusión a la superficie sólida; y (iv) los compuestos son transportados por el solvente y eliminados del extractor (Rodrigues et al., 2002). En la figura 2 se puede apreciar un diagrama de ejemplo de SFE, en residuos de semillas.

Figura 2

Diagrama de extracción con CO₂ supercrítico sc – CO₂



Nota. Elaboración propia (2020)

La extracción de fluidos supercríticos es una tecnología que implica el uso de sustancias transportadas a valores de temperatura y presión superiores a su punto crítico. La SFE se estudia en muchas áreas de investigación, tales como ciencias de alimentos, productos farmacéuticos, residuos químicos, biocombustibles y polímeros (Machado, Pereira, Nunes, Padilha, y Umsza-Guez, 2013). Así, el comportamiento de este fluido tiende a ser híbrido, líquido, capaz de actuar como solvente y gaseoso cuando reacciona a su difusividad. El CO₂ como solvente verde tiene muchas ventajas, ya que su bajo costo de adquisición, alta pureza, baja toxicidad e inflamabilidad, además de actuar sin dañar el medio ambiente (Ciurlia, Bleve, y Rescio, 2009). El proceso de extracción utiliza materia prima que ha sido deshidratada por un método alternativo para generar su preservación y así capturar con mayor rendimiento compuestos fenólicos y antocianinas, así como ácidos grasos, carotenoides y tocoferoles. Antes de hacerlo, se requiere un tratamiento de secado o reducción de agua presente en estos compuestos, como se mencionó, para minimizar las posibles reacciones bioquímicas o microbiológicas, además de permitir una mayor concentración en estos compuestos y, por lo tanto, también extender su vida útil. La extracción con fluidos supercríticos se ha considerado una tecnología ecológica porque es un sustituto con resultados ventajosos en comparación con una extracción tradicional. Este tipo de proceso combina las ventajas de la destilación y extracción con líquidos, ya que funciona a bajas temperaturas; en este caso, en un proceso de baja temperatura, se analizarán las temperaturas y presiones realizadas con CO₂ (Sánchez-Camargo, Ibáñez, Cifuentes, y Herrero, 2017).

Se realizó un estudio realizado por a Alvarez, Cabred, Ramirez, y Fanovich (2019) llamado "Valoración de residuos de soja agroindustrial por extracción con fluidos supercríticos de compuestos fitoquímicos" que propone la extracción de aceite de soja por operación de prensado. Se procesaron dos muestras, S1 y S2, para obtener extractos por extracción con fluido supercrítico (SFE). Las extracciones se realizaron a 40 MPa y a 35 o 40 °C, utilizando CO₂ como disolvente (5 kg CO₂ / kg eyector). Además, los eyectores se impregnaron con etanol (25% p / p de eyector), y luego se realizaron nuevos procesos SFE a 35 ° C tanto para S1 como para S2. Los extractos resultantes de muestras impregnadas de etanol mostraron las mejores propiedades antioxidantes con valores totales de fenol de 10,6 y 16,0 mg GAE / 100 g d.m., contenido de flavonoides de 65,0 y 31,3 QE /

100 g d.m. y capacidad antioxidante por valores DPPH 9,7 y 12,0 omol TE / 100 g d.m. para S1 y S2, respectivamente. El proceso concluyó que los compuestos con alto poder antioxidante podrían recuperarse a través de tecnologías verdes y seguras como la extracción de sc-CO₂.

Otro estudio realizado por Paes, Dotta, Barbero, y Martínez (2014), llamado "Extracción de compuestos fenólicos y antocianinas de los residuos de arándano (*Vaccinium myrtillus* L.) con CO₂ supercrítico y líquidos a presión", donde se exploró el potencial del dióxido (CO₂) en la recuperación de extractos que contienen compuestos fenólicos, antioxidantes y antocianinas de residuos de arándanos (*Vaccinium myrtillus* L.). El arándano es la fruta con el mayor contenido de antioxidantes y polifenoles, que está presente tanto en la cáscara como en la pulpa. En la extracción de líquidos a presión (PLE), se utilizaron agua, etanol y acetona en diferentes proporciones, con la temperatura, la presión y el flujo de solvente permanecieron constantes a 40 °C, 20 MPa y 10 ml / min, respectivamente. Los extractos se analizaron y las mayores actividades de contenido antioxidante y fenólico se encontraron en extractos obtenidos con etanol puro y etanol + agua. Las mayores concentraciones de antocianinas se recuperaron con agua acidificada como disolvente. En la extracción de fluido supercrítico (SFE) con CO₂, se usaron agua, agua acidificada y etanol como modificadores, y la mejor condición para todos los componentes funcionales se evaluó a partir de SFE con 90 % de CO₂, 5 % de agua y 5 % de etanol. Dieciséis antocianinas se identificaron y cuantificaron mediante cromatografía líquida de ultrarrendimiento (UPLC), recuperando así con éxito compuestos fenólicos, antioxidantes y mediante técnicas ambientalmente seguras como SFE y PLE, ya que su aislamiento permite el uso de estos desechos, lo que contribuye a agregar valor a este producto y minimizando los impactos negativos causados por su eliminación directa en el medio ambiente.

El CO₂ mejora la condición de la extracción a medida que se alcanza el punto crítico de ciertas temperaturas y presiones (Sahena et al., 2009). En base a estas características, este fluido es un solvente ideal para aplicaciones industriales que requieren productos de alta pureza como la industria alimentaria, colorantes, farmacéutica y cosmética (A. P. D. F. Machado, Pasquel-Reátegui, Barbero, & Martínez, 2015).

3.6 Disolventes Verdes

La elección de una tecnología para aplicar se centra en el rendimiento de extracción esperado y la pureza obtenida de la misma. Debido a la creciente conciencia de la necesidad de una industria verde y sostenible, el interés en solventes verdes para procesos de separación está creciendo. Ser capaz de adaptar las propiedades del solvente y la biocompatibilidad del solvente son propiedades clave para hacer que los procesos sean sostenibles y permitir flexibilidad con respecto a la alimentación y la composición del producto de los procesos de separación involucrados (Schuur, Brouwer, Smink, y Sprakel, 2019). Estas tecnologías emergentes tienen un gran valor cuando se usan solventes que no son tóxicos o dañan el medio ambiente, o cuando los procesos se llevan a cabo dentro de la metodología que no produce gases o líquidos que puedan contaminar nuestro ecosistema. También se denominan tecnologías ecológicas para cumplir con estas características, posibilitando así mediante su aplicación una extracción sostenible, ya que, además, se deben analizar los costos inmersos en una determinada metodología. Será un factor clave, entonces, no solo considerar la operación de separación de biomoléculas (Sholl y Lively, 2016), sino también la energía utilizada y la eficiencia obtenida al final del procedimiento de extracción para mantener la funcionalidad de estas moléculas recuperadas. En una visión general de los desarrollos de solventes hacia procesos de separación más sostenibles y ecológicos, es clave que no solo se pueda considerar la operación de separación primaria, sino también todo el proceso, incluida la recuperación de solventes, porque eso es típicamente donde la energía invertida (Schuur et al., 2019). Los solventes son de gran importancia en las reacciones dentro de los procesos de purificación. Muchos de estos pueden ser riesgosos para la salud y el medio ambiente, especialmente debido a su volatilidad. Es

por esta razón que la química verde tiene como objetivo reemplazar los solventes tóxicos por otros no peligrosos y con bajo impacto ambiental. Entre los solventes tradicionales que cumplen con estas características se encuentran los siguientes: acetona; etanol; metanol isopropanol; hexano; ácido acético y acetato de etilo (Doxsee y Hutchison, 2005).

La tabla 2 muestra los biocompuestos activos que se pueden extraer de un determinado residuo agroindustrial utilizando un disolvente verde previamente seleccionado para dicha obtención.

Tabla 2

Compuestos bioactivos de residuos agroindustriales y su respectiva extracción verde.

Compuestos Bioactivos	Residuo Agroindustrial	Tecnología o método	Autor
Cianidina 3-O-glucósido	Cáscaras de arándano	CO2 - PLE	(Manna, Bugnone, y Banchemo, 2015)
<i>Limoneno</i>	Cáscaras de naranja	Solventes biodegradables (Lactato de etilo - EL)	(Ozturk, Winterburn, y Gonzalez-Miquel, 2019)
Ácido protocatechuico, derivado del ácido cafeico, catequina, ácido clorogénico, ácido p-cumarico	Orujo de kiwi	Agua subcrítica (Sistemas solventes acuosos)	(Kheirkhah et al., 2019)
Ácido carnósico Ácido rosamarínico Aceite esencial	Rosmarinus officinalis (Romero)	Líquidos iónicos MAE - LI: extracción asistida por microondas con líquido iónico como solvente)	(Sun, Liu, Chen, Ye, y Yu, 2011)
Luteolina	Apium graveolens (apio) Raíces de Panax pseudoginseng (Ginseng)	UAE - LI: extracción asistida por ultrasonido con líquido iónico como disolvente	(Han y Row, 2011) Acton, 2013
Ginsenósidos			

Nota. Elaboración propia (2019)

3.7 Fermentación de sustrato sólido en biorreactores

Muchos residuos agroindustriales en estado sólido se llevan a la fermentación en biorreactores con la adición de inóculos como hongos como levaduras u otros microorganismos, en ciertas concentraciones. Al ser un proceso cerrado, damos condiciones de temperatura, presencia o ausencia de oxígeno, pH y humedad para la producción de enzimas, que se utilizan principalmente en la industria alimentaria o farmacéutica. Estos desechos se mezclan y acondicionan como sustratos, medios de activación subsiguientes para la generación de estos biocatalizadores. En un estudio realizado por da S. Pereira, Fontes-Sant'Ana, y Amaral (2019) llamado "Residuos agroindustriales de mango para la producción de lipasa a partir de *Yarrowia lipolytica* y el potencial del sólido fermentado como biocatalizador", se evaluó la lipasa en obtenida de semillas y piel de mango por fermentación de *Yarrowia lipolytica*. El tegumento fue la única parte que mostró

resultados prometedores para la producción de lipasa. El extracto de levadura fue la mejor fuente de nitrógeno para su producción en fermentación sumergida 3500 U / L de lipasa extracelular. Las condiciones óptimas para la producción de lipasa fueron pH 5,0; 187 rpm de velocidad de agitación; temperatura de 27,9 ° C y concentración de inóculo de 0,96 g / L. El residuo sólido obtenido después de la fermentación en las mejores condiciones experimentales fue 68,03 U / (g de 2 residuos) evidenciando que la lipasa producida durante la fermentación adsorbida en un sólido fermentado logra producir un nuevo biocatalizador.

Azabou et al., (2016), realizaron un estudio llamado "Potencial de fermentación de tomate en estado sólido por *Fusarium solani* pisi, para extracción enzimática de licopeno", donde el objetivo era evaluar el uso directo de enzimas crudas producidas por fermentación en estado sólido (SSF) de *Fusarium solani* pisi para mejorar la extracción de licopeno de productos de tomate procesados (TPB). Los factores investigados incluyeron pH, temperatura, tamaño de partícula y relación de enzima / sólido a solución cruda. Los resultados proporcionaron las siguientes condiciones óptimas de extracción: pH = 8, T = 50 ° C, relación sólido / enzima = 1/30 (p / v) y tamaño de partícula de TPB entre 0,8 y 1,25 mm. La recuperación de licopeno fue moderadamente mayor cuando se extrajo con extracto de enzima cruda *F. solani* en comparación con las pectinasas.

Al trabajar con grandes cantidades de desechos de una determinada materia vegetal, también contribuimos al tratamiento de estos para reducir la contaminación que podría generarse por su emanación de gases o la baja recuperación de los compuestos bioactivos que podrían contener en su composición. Esta tecnología es conocida por el principio de biodegradación metabólica.

3.8 Desarrollo de biopelículas con termopresión

El aislamiento de almidón presente en la matriz vegetal de cierta materia prima comprende el estudio de su composición y estructura para evaluar sus condiciones y así poder fabricar polímeros a partir de estos residuos agroindustriales. La elaboración de estas biopelículas por termocompresión con la adición de matriz vegetal y su respectiva evaluación se detalla a continuación.

Esto podría ser posible si se utilizan materias primas más baratas, como los subproductos agroindustriales (Maniglia, Domingos, de Paula, y Tapia-Blácido, 2014). Este tipo de materia prima puede contener biopolímeros como proteínas, fibra y almidón, por lo que puede emplearse para producir películas (Pelissari, Andrade-Mahecha, Sobral, y Menegalli, 2013). Estos subproductos también pueden contener compuestos bioactivos como antioxidantes y antimicrobianos, lo que permite la producción de películas bioactivas que ofrecen beneficios adicionales en relación con los materiales convencionales (Salas-Valero, Tapia-Blácido, y Menegalli, 2014).

Una investigación realizada por Fai *et al.* (2016) llamado "Desarrollo y evaluación de películas y recubrimientos biodegradables obtenidos de residuos de frutas y vegetales aplicados a zanahorias recién cortadas (*Daucus carota* L.)", desarrollaron películas y recubrimientos biodegradables utilizando diferentes métodos de extracción de residuos de frutas y vegetales como cítricos, sandía, zanahoria, maracuyá, espinacas, lechuga, entre otros; y 8 g de FVR para 0.1 L de diferentes soluciones como extractores: hidróxido de amonio y ácido metafosfórico a pH 7.0 y pH 9.0 y ortofósforo de hidróxido de amonio a pH 9.0. Esta mezcla se calienta a 70 ° C y se agita constantemente (200 rpm) durante 45 minutos. Después de enfriar a temperatura ambiente, la filtración se lleva a cabo a través de mallas de tela de poliéster y centrifugación (1500 g, 10 min). Se determinó el efecto de dos estrategias de recubrimiento; inmersión y pulverización, así como el empaque. Las propiedades mecánicas de las películas, donde también se evaluó la pérdida de peso, color y calidad microbiana de zanahorias mínimamente frescas (en rodajas y ralladas). La película obtenida con un pH 7,0 se aplicó como una especie de tampón a las zanahorias como una resistencia

a la tracción reforzada con alargamiento a la rotura (0,14 MPa y 17 %, respectivamente). El crecimiento microbiano en zanahorias recubiertas fue similar al del control. Las muestras empaquetadas obtuvieron un 27 % menos de pérdida de peso que las muestras de control. Las zanahorias ralladas cubiertas por inmersión y rociado tuvieron una pérdida de masa 12 y 25 % menor que el control. La diferencia no fue significativa, lo que indica que el color naranja no cambió durante el almacenamiento.

Otro estudio realizado por Andretta et al., (2019) titulado "Desarrollo y caracterización de películas indicadoras de pH basadas en almidón de yuca y residuos de arándano por termocompresión", tuvo como objetivo lograr el desarrollo de películas de termocompresión con y sin residuos de arándano como indicador de pH cambio. Las biopelículas se formularon con 20 g de almidón de yuca, 6 g de sorbitol (30% basado en la masa de almidón) y 6 % de agua destilada (30 % basado en la masa de almidón). Las biopelículas que contienen residuos de arándano (BWF), con 2 g de polvo de arándano (10 % basado en la masa de almidón) añadido, se mezclan con todos los ingredientes en un vaso con una varilla de vidrio para promover una mejor homogeneización. Las mezclas se almacenaron en bolsas de plástico y se mantuvo durante al menos dos días en una cámara de vidrio que contenía una solución saturada de NaCl (55 – 65 % de humedad relativa) para hidratar el almidón. Después del período de almacenamiento controlado, la mezcla (1,5 g) se colocó entre dos placas redondas de Teflón 114 (8,0 cm de diámetro). Las placas se insertaron en una prensa hidráulica (prensa hidráulica Solab, modelo SL-11 / 20E, Brasil) calentada a 130 ° C y prensada a 3,5 MPa (34,56 bar) durante 2 minutos. Las películas se eliminaron fácilmente con una humedad relativa controlada (25 °C y 55 - 65 %) durante al menos 48 horas hasta las pruebas de caracterización. Se evaluaron las propiedades de la película entre ellas la humedad, la solubilidad en agua, la permeabilidad al vapor de agua, la permeabilidad al oxígeno, la morfología, el color y la mecánica. Además, el análisis del cambio de color y la migración de los compuestos fueron la realización de las películas con arándanos añadidos a la formación de películas compactas con alta permeabilidad al oxígeno. A pesar de la dispersión irregular del residuo de arándano en la matriz polimérica identificada por microscopía óptica, las películas mostraron valores iguales de permeabilidad al vapor de agua, hidrofilia y propiedades mecánicas en comparación con las muestras sin residuo. También exhibieron cambios de color visibles en el rango de pH entre 2 y 12, lo que se confirmó mediante análisis colorimétrico con valores de muestra superiores a 3. La migración de los compuestos después de la película de inmersión en solución acuosa simulada (ácido acético) mostró una mayor intensidad en comparación a las muestras sumergidas en una solución simulada de ácido graso (etanol) debido a la hidrofilia de las antocianinas. Por lo tanto, la película de arándano tiene potencial como empaque inteligente. Además de eso, tiene potencial como empaque activo debido a la migración de compuestos fenólicos en soluciones acuosas.

4. Conclusiones

El estudio de estas tecnologías cubre un campo de gran interés y demanda actual con una gran proyección futura debido a las ventajas que tiene en términos de ahorro de energía y recursos; También es responsable con el medio ambiente, y es por esta misma razón que la SFE, MAE, SAE se consideran tecnologías ecoeficientes.

El enfoque en la obtención y recuperación de metabolitos de alto valor en términos de compuestos bioactivos tiene un alto impacto en el suministro de industrias como la cosmética, aditivos y pigmentos, además de la farmacológica, contribuyendo a la fisiología y nutrición del ser humano y salud animal, además, el uso de residuos nos permite dar valor a toda la materia prima que tenemos disponible, junto con las tecnologías de Fermentación de sustrato sólido en biorreactores y el Desarrollo de biopelículas por compresión térmica, dando lugar a procesos que son sostenibles al manejar parámetros y optimizarlos para aprovechar al máximo los recursos existentes.

5. Referencias Bibliográficas

- Agostini, F., Bertussi, R. A., Agostini, G., Atti Dos Santos, A. C., Rossato, M., & Vanderlinde, R. (2012). Supercritical extraction from vinification residues: Fatty acids, α -tocopherol, and phenolic compounds in the oil seeds from different varieties of grape. *The Scientific World Journal*, 2012. <https://doi.org/10.1100/2012/790486>
- Alvarez, M. V., Cabred, S., Ramirez, C. L., & Fanovich, M. A. (2019). Valorization of an agroindustrial soybean residue by supercritical fluid extraction of phytochemical compounds. *Journal of Supercritical Fluids*, 143, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.07.012>
- Amarowicz, R., & Weidner, S. (2009). Biological Activity of Grapevine Phenolic Compounds. In *Grapevine Molecular Physiology & Biotechnology* (pp. 389–405). https://doi.org/10.1007/978-90-481-2305-6_14
- Andretta, R., Luchese, C. L., Tessaro, I. C., & Spada, J. C. (2019). Development and characterization of pH-indicator films based on cassava starch and blueberry residue by thermocompression. *Food Hydrocolloids*, 93, 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.019>
- Azabou, S., Abid, Y., Sebi, H., Felfoul, I., Gargouri, A., & Attia, H. (2016). Potential of the solid-state fermentation of tomato by products by *Fusarium solani* pisi for enzymatic extraction of lycopene. In *LWT - Food Science and Technology* (Vol. 68). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.064>
- Ballard, T. S., Mallikarjunan, P., Zhou, K., & O'Keefe, S. (2010). Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidant compounds from peanut skins. *Food Chemistry*, 120(4), 1185–1192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.063>
- Borregón, M., & Rojo, R. (2015). Grado en Ingeniería Química Extracción de curcuminoides con agua subcrítica. *Industriales, Escuela D E Ingenierías*.
- Brunner, G. (2005). Supercritical fluids: technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.060>
- Can-Cauich, C. A., Sauri-Duch, E., Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L., González-Aguilar, G. A., Cuevas-Glory, L. F., ... Moo-Huchin, V. M. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 37, 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.08.028>
- Carabias-Martínez, R., Rodríguez-Gonzalo, E., Revilla-Ruiz, P., & Hernández-Méndez, J. (2005). Pressurized liquid extraction in the analysis of food and biological samples. *Journal of Chromatography A*, 1089(1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.06.072>
- Ciurlia, L., Blevé, M., & Rescio, L. (2009). Supercritical carbon dioxide co-extraction of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) and hazelnuts (*Corylus avellana* L.): A new procedure in obtaining a source of natural lycopene. *Journal of Supercritical Fluids*, 49(3), 338–344. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.03.003>
- Coradi, G. V., da Visitação, V. L., de Lima, E. A., Saito, L. Y. T., Palmieri, D. A., Takita, M. A., ... de Lima, V. M. G. (2013). Comparing submerged and solid-state fermentation of agro-industrial residues for the production and characterization of lipase by *Trichoderma harzianum*. *Annals of Microbiology*, 63(2), 533–540. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0500-1>
- da S. Pereira, A., Fontes-Sant'Ana, G. C., & Amaral, P. F. F. (2019). Mango agro-industrial wastes for lipase production from *Yarrowia lipolytica* and the potential of the fermented solid as a biocatalyst. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 68–77.

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.02.002>

- Đurđević, S., Milovanović, S., Šavikin, K., Ristić, M., Menković, N., Pljevljakušić, D., ... Bogdanović, A. (2017). Improvement of supercritical CO₂ and n-hexane extraction of wild growing pomegranate seed oil by microwave pretreatment. *Industrial Crops and Products*, *104*, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.024>
- Esquivel-Hernández, D. A., Ibarra-Garza, I. P., Rodríguez-Rodríguez, J., Cuéllar-Bermúdez, S. P., Rostro-Alanis, M. de J., Alemán-Nava, G. S., ... Parra-Saldívar, R. (2017). Green extraction technologies for high-value metabolites from algae: a review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *11*(1), 215–231. <https://doi.org/10.1002/bbb.1735>
- Farías-Campomanes, A. M., Rostagno, M. A., & Meireles, M. A. A. (2013). Production of polyphenol extracts from grape bagasse using supercritical fluids: Yield, extract composition and economic evaluation. *Journal of Supercritical Fluids*, *77*, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.02.006>
- Haghighi, A., & Khajenoori, M. (2013). Subcritical Water Extraction. In *Mass Transfer - Advances in Sustainable Energy and Environment Oriented Numerical Modeling*. <https://doi.org/10.5772/54993>
- Han, D., & Row, K. H. (2011). Determination of luteolin and apigenin in celery using ultrasonic-assisted extraction based on aqueous solution of ionic liquid coupled with HPLC quantification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(15), 2888–2892. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4553>
- Hao, J., Han, W., Huang, S., Xue, B., & Deng, X. (2002). Microwave-assisted extraction of artemisinin from *Artemisia annua* L. *Separation and Purification Technology*, *28*(3), 191–196. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(02\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(02)00043-6)
- Kagliwal, L. D., Patil, S. C., Pol, A. S., Singhal, R. S., & Patravale, V. B. (2011). Separation of bioactives from seabuckthorn seeds by supercritical carbon dioxide extraction methodology through solubility parameter approach. *Separation and Purification Technology*, *80*(3), 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.06.008>
- Kheirkhah, H., Baroutian, S., & Quek, S. Y. (2019). Evaluation of bioactive compounds extracted from Hayward kiwifruit pomace by subcritical water extraction. *Food and Bioproducts Processing*, *115*, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.007>
- Klingberg, S., Ellegård, L., Johansson, I., Hallmans, G., Weinehall, L., Andersson, H., & Winkvist, A. (2008). Inverse relation between dietary intake of naturally occurring plant sterols and serum cholesterol in northern Sweden. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *87*(4), 993–1001. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.4.993>
- Ko, M.-J., Cheigh, C.-I., Cho, S.-W., & Chung, M.-S. (2011). Subcritical water extraction of flavonol quercetin from onion skin. *Journal of Food Engineering*, *102*(4), 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.008>
- Krukoniš, M. M. V. B. (2013). *Supercritical Fluid Extraction 2nd Edition*. Editor: Howard, 2.
- Laroze, L., Soto, C., & Zúñiga, M. E. (2010). Phenolic antioxidants extraction from raspberry wastes assisted by-enzymes. *Electronic Journal of Biotechnology*, *13*(6), 0–0. <https://doi.org/10.2225/vol13-issue6-fulltext-12>
- Lin, C. S. K., Pfaltzgraff, L. A., Herrero-Davila, L., Mubofu, E. B., Abderrahim, S., Clark, J. H., ... Luque, R. (2013). Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. *Energy & Environmental Science*, *6*(2), 426.

<https://doi.org/10.1039/c2ee23440h>

- LIU, Y., SHI, J., & LANGRISH, T. (2006). Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. *Chemical Engineering Journal*, 120(3), 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.02.015>
- Lizardi-Jiménez, M. A., & Hernández-Martínez, R. (2017). Solid state fermentation (SSF): diversity of applications to valorize waste and biomass. *3 Biotech*, 7(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0692-y>
- Lucchesi, M. E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography A*, 1043(2), 323–327. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.05.083>
- Machado, A. P. D. F., Pasquel-Reátegui, J. L., Barbero, G. F., & Martínez, J. (2015). Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: a comparison with conventional methods. *Food Research International*, 77, 675–683. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.042>
- Machado, B. A. S., Pereira, C. G., Nunes, S. B., Padilha, F. F., & Umsza-Guez, M. A. (2013). Supercritical Fluid Extraction Using CO₂: Main Applications and Future Perspectives. *Separation Science and Technology*, 48(18), 2741–2760. <https://doi.org/10.1080/01496395.2013.811422>
- Maniglia, B. C., Domingos, J. R., de Paula, R. L., & Tapia-Blácido, D. R. (2014). Development of bioactive edible film from turmeric dye solvent extraction residue. *LWT - Food Science and Technology*, 56(2), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.011>
- Manna, L., Bugnone, C. A., & Banchemo, M. (2015). Valorization of hazelnut, coffee and grape wastes through supercritical fluid extraction of triglycerides and polyphenols. *Journal of Supercritical Fluids*, 104, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.06.012>
- Ozturk, B., Winterburn, J., & Gonzalez-Miquel, M. (2019). Orange peel waste valorisation through limonene extraction using bio-based solvents. *Biochemical Engineering Journal*, 151, 107298. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.107298>
- Paes, J., Dotta, R., Barbero, G. F., & 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>
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2013). Optimization of process conditions for the production of films based on the flour from plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *LWT - Food Science and Technology*, 52(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.011>
- Pingret, D., Fabiano-Tixier, A.-S., Bourvellec, C. Le, Renard, C. M. G. C., & Chemat, F. (2012). Lab and pilot-scale ultrasound-assisted water extraction of polyphenols from apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.026>
- Prado, J. M., Dalmolin, I., Carareto, N. D. D., Basso, R. C., Meirelles, A. J. A., Oliveira, J. V., ... Meireles, M. A. A. (2012). Supercritical fluid extraction of grape seed: Process scale-up, extract chemical composition and economic evaluation. *Journal of Food Engineering*, 109(2), 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.007>
- Prakash Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2013). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 703–

709. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.052>

- Quoc, L. P. T., Huyen, V. T. N., Hue, L. T. N., Hue, N. T. H., Thuan, N. H. D., Tam, N. T. T., ... Duy, T. H. (2015). Extraction of pectin from pomelo (*Citrus maxima*) peels with the assistance of microwave and tartaric acid. *International Food Research Journal*, 22(4), 1637–1641.
- Reverchon, E., & De Marco, I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020>
- Routray, W., & Orsat, V. (2013). Preparative Extraction and Separation of Phenolic Compounds. In *Natural Products* (pp. 2013–2045). https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_55
- Sahena, F., Zaidul, I. S. M., Jinap, S., Karim, A. A., Abbas, K. A., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2009). Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – A review. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.026>
- Salas-Valero, L. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2014). BIOFILMS BASED ON CANIHUA FLOUR (*Chenopodium Pallidicaule*): DESIGN AND CHARACTERIZATION. *Química Nova*. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140275>
- Sánchez-Camargo, A. del P., Ibáñez, E., Cifuentes, A., & Herrero, M. (2017). *Bioactives Obtained From Plants, Seaweeds, Microalgae and Food By-Products Using Pressurized Liquid Extraction and Supercritical Fluid Extraction*. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2017.01.001>
- Schuur, B., Brouwer, T., Smink, D., & Sprakel, L. M. J. (2019). Green solvents for sustainable separation processes. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 18, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.12.009>
- Seixas, F. L., Fukuda, D. L., Turbiani, F. R. B., Garcia, P. S., Petkowicz, C. L. d. O., Jagadevan, S., & Gimenes, M. L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f.flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38, 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.001>
- Sholl, D. S., & Lively, R. P. (2016). Seven chemical separations to change the world. *Nature*, 532(7600), 435–437. <https://doi.org/10.1038/532435a>
- Singh, A., Sabally, K., Kubow, S., Donnelly, D. J., Garipey, Y., Orsat, V., & Raghavan, G. S. V. (2011). Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Antioxidants from Potato Peels. *Molecules*, 16(3), 2218–2232. <https://doi.org/10.3390/molecules16032218>
- Socaci, S. A., Ruginã, D. O., Diaconeasa, Z. M., Pop, O. L., Fărcaș, A. C., Păucean, A., ... Pinteia, A. (2017). Antioxidant Compounds Recovered from Food Wastes. In *Functional Food - Improve Health through Adequate Food*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69124>
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of Extraction Solvent/Technique on the Antioxidant Activity of Selected Medicinal Plant Extracts. *Molecules*, 14(6), 2167–2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
- Sun, Y., Liu, D., Chen, J., Ye, X., & Yu, D. (2011). Effects of different factors of ultrasound treatment on the extraction yield of the all-trans- β -carotene from citrus peels. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(1), 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.05.014>
- Tunchaiyaphum, S., Eshtiaghi, M. N., & Yoswathana, N. (2013). Extraction of Bioactive Compounds from Mango Peels Using Green Technology. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(4), 194–198. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2013.v4.293>
- Wang, X., Chen, Q., & Lü, X. (2014). Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by

subcritical water. *Food Hydrocolloids*, 38, 129–137.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.003>

Willats, W. G. ., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*, 17(3), 97–104.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.008>

Agradecimientos

Los autores agradecen y reconocen el apoyo financiero del Proyecto Concytec - Banco Mundial, a través de su unidad ejecutora el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (Fondecyt), CP N° 8682-PE-BM-FONDECYT/CONCYTEC, otorgado para la ejecución del Subproyecto de Investigación con Contrato N°127-2018FONDECYT-BM-IADT-AV.