

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**“TECNICAS DE OBTENCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y
SUS APLICACIONES”**

Por:

PEDRO RAMIREZ RODRIGUEZ

MONOGRAFÍA

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**“TECNICAS DE OBTENCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y
SUS APLICACIONES”**

Por:


PEDRO RAMIREZ RODRIGUEZ

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El siguiente trabajo ha sido dirigido por el siguiente comité:



Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez
Asesor Principal



Dr. Armando Robledo Olivo
Asesor



Dr. Gustavo López Guarín
Asesor



**M.C. Juan Fernando Soberón
Nakasima Cerda**
Asesor



M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Febrero, 2025



Febrero, 2025

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

El suscrito **Pedro Ramírez Rodríguez**, alumno del programa docente de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos, ∞ matrícula 41199621 y autor de la presente monografía manifiesta que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y que han sido incluidas en este trabajo, han sido debidamente citadas, reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos del autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ellos.
5. Entiendo la función y el alcance de mi comité de asesoría esta circunscrito a la orientación de guía respecto a la metodología de investigación realizada para el presente trabajo, así como el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente mía.

ATENTAMENTE



Pedro Ramírez Rodríguez

Alumno

DEDICATORIA

Gracias JHEOVA Dios por darme la oportunidad de aprender de la vida y actuar como sabio. Tu palabra me enseña a vivir como sabio y entendido.

Gracias a mi hermano Elnar Javier Ramírez Rodríguez por a verme apoyado en conseguir en concluir con mi carrera profesional. Por estar siempre pendiente de mi en todo momento con sus sabios consejos.

Agradezco a mis padres y hermana por ser la figura más importante de mi vida que he logrado. Gracias madrecita hermosa.

Le doy gracias a toda mi familia por ser una familia unida, que en todo momento estuvieron dando sus consejos para que todos mis hermanos obtuvieran una carrera profesional.

Quienes, con su confianza, cariño y apoyo, sin escatimar esfuerzo alguno me han convertido en persona de provecho, ayudándome al logro de una meta más: Mi carrera profesional.

Por compartir tristezas y alegrías, éxitos y fracasos, por todos los detalles que me han brindado durante mi vida como estudiante y por hacer de mí lo que soy.

En esta ocasión agradezco muy especialmente a la Dra. Charles por ser partícipe de uno de los logros más importantes en mi vida; su paciencia, comprensión, tenacidad, pero sobre todo por su confianza en mí. Gracias por este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	3
II.	OBJETIVO.....	4
III.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
1	EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO.....	5
1.1	MACERACION.....	6
1.1.1	Fundamento.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2	Técnica	6
1.1.3	Principales aplicaciones.....	7
1.2	SOXHLET	7
1.2.1	Fundamento.....	8
1.2.2	Técnica	¡Error! Marcador no definido.
1.2.3	Principales aplicaciones	8
1.3	MICROONDAS	9
1.3.1	Fundamento.....	9
1.3.2	Técnica	¡Error! Marcador no definido.
1.3.3	Principales aplicaciones	11
1.4	ULTRASONIDO.....	12
1.4.1	Fundamento.....	12
1.4.2	Técnica	¡Error! Marcador no definido.
1.4.3	Principales aplicaciones.....	¡Error! Marcador no definido.
1.5	FLUIDOS SUPERCRITICOS	15
1.5.1	Fundamento.....	15
1.5.2	Técnica	¡Error! Marcador no definido.
1.5.3	Principales aplicaciones	¡Error! Marcador no definido.
1.6	CALENTAMIENTO OHMICO	16
1.6.1	Fundamento.....	17
1.6.2	Técnica	¡Error! Marcador no definido.
1.6.3	Principales aplicaciones	17
IV.	Conclusión.....	¡Error! Marcador no definido.
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistemas de extracción con microondas. (a) Sistema de microondas cerrado y (b) Sistema de microondas abierto. Adaptado de (Mandal et al., 2007). 10

Figura 2: Diferentes tipos de sistema de extracción asistida por ultrasonidos, (a) baños de ultrasonidos con transductores ultrasónicos bajo el fondo del recipiente; (b) baño de ultrasonidos con los transductores en el lateral del recipiente; (c) baño de ultrasonidos con los transductores en una caja de matriz individual (d) bocina ultrasónica; y, (e) unidad de extracción continua basada en bocina ultrasónica. Adaptado de (Wen et al., 2020). 14

I. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad de plantas en México es muy interesante, algunas plantas endémicas han destacado en la medicina tradicional; sin embargo, se requieren estudios para determinar la relación de sus componentes y condiciones de crecimiento con sus funcionalidades asociadas. Pese a su riqueza vegetal y extenso terreno, los recursos que se pueden obtener de las zonas áridas no son extensamente estudiados en la actualidad; se ha comprobado que especies que proliferan en estos ambientes presentan perfiles fitoquímicos interesantes, ya que deben sintetizar compuestos que les sean de utilidad para sobrevivir bajo las condiciones extremas a las que están expuestas las plantas de estas áreas. Para la extracción de estos compuestos existen diversas técnicas, por lo general, suelen dividirse en dos tipos: convencionales y no convencionales, las primeras, presentan ciertas desventajas, entre las que destacan: tiempos de operación largos y uso de grandes cantidades de solventes. Dentro de las no convencionales, destacan los de fluidos supercríticos, microondas, ultrasonido, etc.

Dentro de las técnicas no convencionales, las principales técnicas amigables con el medio ambiente son las extracciones asistidas por ultrasonido (EAU), microondas (EAM), líquidos presurizados (ELP) y fluidos supercríticos (Carciochi et al., 2017); siendo las más utilizadas la EAU y la EAM debido a que se han reportado altos rendimientos en la obtención de compuestos bioactivos con menor cantidad de disolvente, en tiempos cortos de extracción (Bandar et al., 2013).

Sin embargo, a pesar de contar con estas alternativas, son pocas las investigaciones que utilizan estas técnicas para extraer y recuperar compuestos bioactivos a partir de diversos residuos como por ejemplo de frutos cítricos (Khan et al., 2010; Boudhrioua, M'hiri, Ioannou, Paris & Ghoul, 2016; Safdar et al., 2017).

El objetivo de estas tecnologías de extracción verdes, haciendo especial énfasis en la extracción asistida por ultrasonido (EAU) y microondas (EAM) para la recuperación de compuestos bioactivos, se enfocan en el aprovechamiento y revalorización de los residuos agroindustriales.

II. OBJETIVO

La investigación que se plantea en el presente documento pretende

1. Obtener información actualizada de los métodos de extracción de compuestos bioactivos
2. Poder conocer las ventajas y desventajas de los métodos más comunes para la extracción de compuestos bioactivos
3. Proporcionar datos relevantes de los 2 métodos más usados actualmente como lo son EAU y EAM

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

Desde hace décadas se han estudiado diferentes alternativas de extracción de compuestos de alto valor añadido a partir de residuos y/o subproductos alimentarios. Para ello, se han empleado tanto tecnologías convencionales como no convencionales. Las tecnologías emergentes no convencionales representan una herramienta prometedora para mejorar el rendimiento de la recuperación de los polifenoles presentes, así como para convertirlos es más seguros, eficientes y sostenibles.

El empleo de estas nuevas tecnologías, en muchos de los casos, conlleva ventajas relacionadas con la reducción del tiempo de extracción, la energía consumida, el uso de solventes orgánicos y el aumento de los rendimientos de extracción, en plena correspondencia con el concepto de extracción verde.

1. EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

Se le conoce así al proceso de extracción sólido-líquido es una de las operaciones unitarias más ampliamente utilizadas en la industria alimentaria y, entre otros fines, se aplica en la recuperación de ciertos compuestos bioactivos retenidos en la matriz de productos naturales. En las últimas décadas, ha adquirido un papel determinante en el aislamiento de compuestos fenólicos de origen vegetal para su posterior utilización en la preparación de suplementos dietéticos o nutraceuticos, ingredientes funcionales, aditivos para productos alimenticios, farmacéuticos, cosméticos, se realiza a partir de residuos de cítricos, para la elaboración de productos funcionales (Wang & Weller, 2006; Selvamuthukumaran & Shi, 2017), entre otros.

Esta técnica consiste en un proceso de maceración seguido de extracción por polaridad con solventes afines por lo que existen factores que son determinantes como la temperatura, el tipo de solvente usado, el tiempo y por supuesto la relación entre sólido y líquido. Esta técnica se ha convertido en un proceso muy atractivo en las últimas décadas para productos alimenticios.

Sin embargo, estas técnicas utilizan grandes cantidades de disolventes químicos, involucran en algunos casos agitación, y requieren de largos periodos de tiempo para la extracción, que van desde 8 h para la hidrodestilación a más de 24 h para la maceración (Soquetta et al., 2018).

Azmir et al (2013) plantea que los solventes seleccionados para la extracción sólido-líquido depende en gran medida de la polaridad de la molécula a extraer, pero recomienda agua, etanol o mezcla de ellos para compuestos que son utilizados en alimentos.

En ingeniería de alimentos se ha estudiado en forma más extendida la extracción sólido-líquido de matrices vegetales, empleando diferentes partes de la planta como hojas, tallos, cortezas, frutos, flores y semillas (Aguirre Calvo et al, 2018).

2. MACERACION

Esta técnica consiste en poner en contacto la matriz sólida de un alimento en el solvente durante un tiempo determinado. Se conoce como tintura a la combinación de la matriz sólida con el disolvente. La maceración es un procedimiento que, aunque es simple es seguro y económico (Farmacopea Argentina 2003; Cujic et al., 2016; Azmir et al., 2013).

2.1 Técnica

El proceso de maceración genera dos productos que pueden ser empleados dependiendo de las necesidades de uso, el sólido ausente de esencias o el propio extracto (Fernaroli's 1975).

En un estudio preliminar, se evaluó la eficiencia del tamaño de partícula, el tiempo de maceración y la frecuencia de agitación, y se encontró que este último es el único factor que influye significativamente sobre la eficiencia de extracción, por lo que se optó por realizar los experimentos consecutivos en condiciones de agitación (Duarte-Trujillo y Pineda-Insuasti, 2018).

2.2 Aplicaciones

La técnica de maceración se puede emplear en la industria farmacéutica y en la industria de los alimentos, los macerados se definen ante todo como extractos acuosos obtenidos a partir de materias primas mucilaginosas. En los últimos años, los antibióticos sintéticos han generado la aparición de organismos resistente a este tipo de tratamientos, por lo que resulta importante estudiar el desarrollo de antimicrobianos naturales que combatan de manera efectiva a los microorganismos causantes de enfermedades en plantas, animales y seres humanos. Diversos estudios han demostrado que los polifenoles y flavonoides provenientes de los cítricos presentan propiedades biológicas que pueden reducir los efectos negativos del uso excesivo de medicamentos en los órganos, detener el envejecimiento celular y combatir infecciones por virus, hongos y bacterias (Zhanga et al., 2013).

El aceite esencial de naranja es eficaz contra *A. niger*, el aceite esencial de mandarina ha logrado reducir el crecimiento de *A. flavus*, mientras que el mejor inhibidor de *Penicillium chrysogenum* y *P. verrucosum* es el aceite esencial de toronja. Los aceites esenciales de cítricos son alternativas prometedoras a los aditivos químicos para uso en la industria alimentaria (Arévalo et al., 2010).

Otra de las aplicaciones de los residuos es la obtención de pectina a partir de la cascara. Su uso comercial va desde agente gelificante hasta estabilizante. La pectina es un polímero del ácido D-galacturónico ampliamente utilizado en la industria de alimentos, debido a que mejora la estabilidad de los productos alimentarios, así como sus propiedades sensoriales (Chavan et al., 2018).

3. SOXHLET

Soxhlet es la técnica de separación sólido-líquido comúnmente utilizada en la industria alimentaria y no alimentaria para la determinación del contenido graso en muestras de diferente naturaleza. De igual modo, puede ser usada como técnica preparativa de muestra como paso previo al análisis mediante otra técnica instrumental. De hecho, la extracción soxhlet ha sido una técnica estándar durante

más de un siglo y los métodos basados en ella siguen siendo las principales referencias con las que se mide el rendimiento de los nuevos métodos de lixiviación. Las ventajas y desventajas de la extracción soxhlet se han utilizado como puntos de partida para el desarrollo de una variedad de modificaciones.

3.1 Fundamento

Se asume que el extracto obtenido por extracción Soxhlet corresponde al contenido graso de la muestra. Se determina su masa, una vez libre de disolvente, (método gravimétrico). Muchas veces, la extracción Soxhlet se usa como primer paso de una purificación o separación.

La extracción Soxhlet ha sido (y en muchos casos, continua siendo) el método estándar de extracción de muestras sólidas más utilizados desde su diseño en el siglo pasado, y actualmente, es el principal método de referencia con el que se comparan otros métodos de extracción. además de muchos métodos de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés) y de la FDA (Food and Drug Administration, por sus siglas en inglés) utilizan esta técnica clásica como método oficial para la extracción continua de sólidos. Esta técnica utiliza los siguientes materiales base:

- Parrilla: Emite el calor que produce la interacción de las partículas y su evaporación.
- Sifón: Contiene en un pequeño frasco el gas producido por la mezcla, donde las grasas se comienzan a solidificar al estar aisladas del líquido.
- Matraz: Es un frasco de vidrio donde es vertida la mezcla en primera instancia para su evaporación.
- Refrigerante: Es el último proceso ascendente del equipo soxhlet. Mantiene un ambiente frío donde se condensa el disolvente separado de la mezcla.

3.2 Aplicaciones

Tiene una gran área de aplicación en alimentos y bebidas: determina el contenido de grasa en muestras de alimentos, ayudando en el etiquetado nutricional.

Entre los alimentos elaborados a base del fruto se encuentran: mermeladas, jugos y néctares; productos deshidratados; jugos concentrados, jarabes y licores. Por otro lado, entre los productos elaborados a base de los cladodios se encuentran: encurtidos, jugos, mermeladas y otros productos mínimamente procesados. Debido a su composición nutricional y funcional. En la industria alimentaria se ha enfocado en la formulación, enriquecimiento y desarrollo de nuevos productos, o bien, para formar parte de la gama de aditivos naturales (Bouazizi, Montevecchi, Antonelli, & Hamdi, 2020).

4. MICROONDAS

La técnica de microondas se ha utilizado con frecuencia para extraer compuestos bioactivos, especialmente para materiales vegetales, en las últimas décadas. El mecanismo se basa principalmente en el efecto de calentamiento de las microondas, que aumenta la temperatura de extracción y la tasa de transferencia de masa, lo que resulta en una tasa de transferencia de masa más rápida (Kaderides *et al.*, 2019).

4.1 Fundamento

Debido a la penetración de las microondas hasta una profundidad específica y su interacción con los componentes polares de ciertos materiales, las microondas también pueden causar el calentamiento directo en masa dentro del cuerpo del disolvente y la matriz de la muestra. El calentamiento directo y a granel reduce el tiempo necesario para calentar el disolvente y las muestras, especialmente en extractores a gran escala. La temperatura, la frecuencia de microondas, la constitución del disolvente e incluso la presencia de muestras en el disolvente influyen en el efecto de calentamiento de las microondas en la mezcla (Azmir *et al.*, 2013).

Además, el calentamiento directo penetra en el interior de la matriz durante la extracción con microondas, aumentando la temperatura y la presión local, lo que

puede empujar los componentes objetivo de la matriz hacia el cuerpo del disolvente. Esto podría mejorar la penetración del disolvente en la matriz de la muestra y permitir que los componentes objetivo se transfieran al disolvente (Azmir *et al.*, 2013). En este caso la extracción con microondas puede realizarse en un sistema cerrado o en un sistema abierto, en el que la presión del sistema aumente por encima o por debajo de la presión atmosférica, respectivamente. La muestra los diagramas esquemáticos del sistema cerrado con radiación homogénea (a) y del sistema abierto con radiación focalizada (b). El sistema cerrado realiza la extracción en un recipiente sellado con un calentamiento uniforme por microondas. Si se dispone de sistemas de control de temperatura y presión en el equipo, es posible que se controle la temperatura y la presión. Dado que el aumento de la presión en el recipiente cerrado eleva el punto de ebullición del disolvente de extracción, puede alcanzar temperaturas de trabajo más altas que el sistema abierto (Vinatoru *et al.*, 2017).

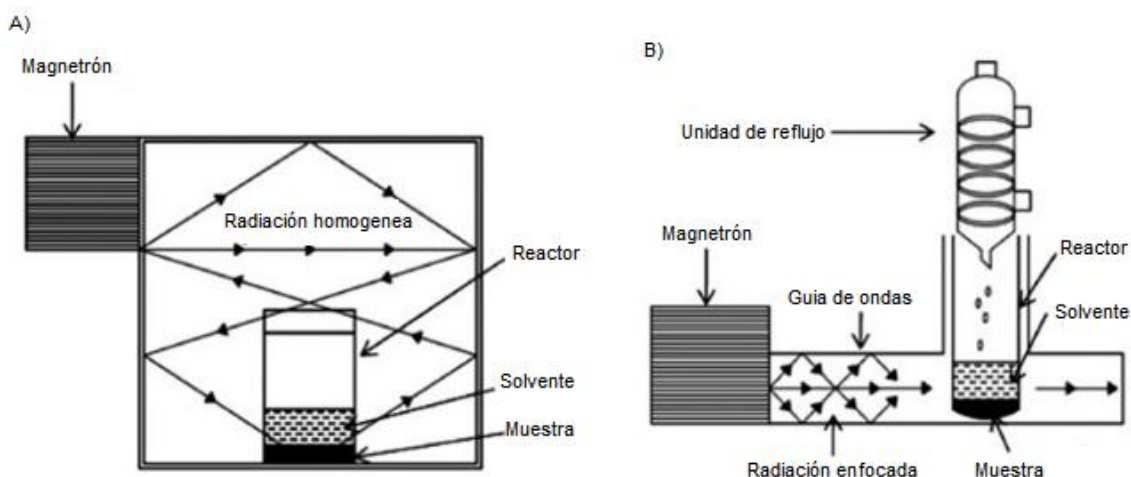


Figura 1: Sistemas de extracción con microondas. (a) Sistema de microondas cerrado y (b) Sistema de microondas abierto. Adaptado de (Mandal *et al.*, 2007).

Aunque las altas temperaturas y presiones del reactor aumentan los riesgos de seguridad y los requisitos de control del equipo, también permiten una extracción

eficiente y rápida con menos disolvente. Además, muchos de estos sistemas tienen la capacidad de procesar un número limitado de muestras. El sistema abierto puede superar algunas limitaciones del sistema cerrado, como los riesgos de seguridad. También es más adecuado para componentes termolábiles y se utiliza con frecuencia para extraer componentes bioactivos (Mandal *et al.*, 2007).

4.2 Aplicaciones

El microondas ha llegado a la industria alimentaria y se utiliza en muchos procesos térmicos, sustituyendo a métodos convencionales por las ventajas que nos ofrece.

Son muy populares en la industria alimentaria, pero hay una serie de ejemplos en su aplicación y de investigación buscando oportunidades para sustituir a las tecnologías tradicionales con el fin de reducir costos y mejorar la calidad de los productos.

En este contexto, la extracción asistida por microondas se ha utilizado ampliamente para mejorar la extracción de compuestos activos de muchas matrices vegetales. Sus principales ventajas frente a los métodos convencionales, son velocidades de calentamiento rápidas, tiempos cortos de extracción, proceso limpio de calentamiento que no genera desechos secundarios y la reducción del uso de disolvente orgánicos.

En cuanto a la extracción de polifenoles de uva, la MAE permite obtener en tan solo 10 minutos el doble de la cantidad de polifenoles que se extrae en 3 h mediante una extracción convencional sólido-líquido. Además, el aumento de la antocianina es notable 17.6% más de estos compuestos activos se obtiene por extracción de microondas.

De manera general se conocen tres procesos importantes para la extracción de compuestos por microondas: el primero de ellos es la separación de solutos mediante temperatura y presión elevadas, por consiguiente, ocurre la difusión del disolvente a través de la muestra y por último, la liberación de compuestos al disolvente a partir de la muestra elevada (Sadeghi *et al.*, 2017).

La generación de ondas electromagnéticas de la pauta para el inicio del proceso de extracción permitiendo que las paredes celulares de las plantas y/o sus residuos interactúen con las ondas, dando como resultado un calentamiento en la matriz vegetal, lo que ocasiona una hinchazón en sus paredes celulares debido a la presión ejercida, provocando un incremento en la transferencia de masa de los solutos. Por lo tanto, la disrupción de las células es invencible, liberándose los compuestos hacia el disolvente (Ameer, Shahbaz & Kwon, 2017).

5. ULTRASONIDO

En la extracción asistida por ultrasonido (EAU) se utiliza energía de ultrasonido y solventes para extraer compuestos objetivos de varias matrices de plantas. Estas ondas consisten en una serie de ciclos de compresión que se puede propagar a través de un medio sólido, líquido o gaseoso induciendo el desplazamiento y desalojo de las moléculas de sus posiciones originales.

El ultrasonido, que tiene una frecuencia de 20 kHz a 100 MHz como onda mecánica, se propaga a través de cualquier medio, generando ciclos de expansiones y compresiones. Cuando la potencia acústica es lo suficientemente alta en un medio líquido, puede provocar la formación, crecimiento y colapso/implosión de burbujas de cavitación. Esto se ha utilizado ampliamente para mejorar varios procesos alimentarios (Zhu *et al.*, 2018).

5.1 Fundamento

Por lo general, los dispositivos de ultrasonido son cruciales para la extracción porque pueden controlar la densidad de energía acústica, la potencia ultrasónica, la intensidad ultrasónica y el modo de trabajo (pulsado o no pulsado). Para aplicar ultrasonidos se suelen utilizar dos tipos diferentes de dispositivos, el baño ultrasónico y el sistema de ultrasonidos tipo sonda (Putnik *et al.*, 2019).

Existen tres tipos de equipos diseñados para la aplicación de tratamientos por ultrasonido en el laboratorio: el baño de ultrasonido, el “cup-horn”, sonicador y el de inmersión directa de la sonda de ultrasonido.

Los baños de ultrasonidos posiblemente sean la aplicación más popular de los ultrasonidos de potencia. Aunque se utilicen normalmente como equipos de limpieza de laboratorio, se encuentran que estos se han usado para acelerar los procesos de transferencia de materia en medios líquidos.

En los sistemas tipo sonda, se utiliza una sonda metálica para aplicar en el medio líquido la vibración generada en el transductor. La potencia aplicada dependerá de la amplitud de vibración en la punta de la sonda que se controlará variando la potencia eléctrica suministrada por el equipo generador/amplificador.

En la actualidad, se han diseñado y modificado equipos, con el fin de realizar el efecto de ultrasonido en diferentes alimentos. Es así, como secadores de convección directa con transductores ultrasónicos se han utilizado para el secado de algunas frutas y verduras. Existen técnicas que nos pueden ayudar a facilitar los procesos, como el pretratamiento de desechos de frutas y verduras que juegan un papel importante en el rendimiento de EAU de compuestos bioactivos. Para la EAU de pectina y polisacáridos de subproductos de frutas y verduras, las materias primas se someten a un pretratamiento como escaldado, secado y molienda. El escaldado se lleva a cabo sumergiendo los subproductos a 80 °C-100 °C durante 3-5 minutos seguido de enfriamiento de un baño de hielo para inactivar las enzimas.

En este caso las cáscaras secas se muelen utilizando un molinillo eléctrico para obtener partículas finas que tienen un diámetro inferior a 0,25 mm. Para la EAU de polisacáridos crudos antioxidantes, compuestos fenólicos y fibras dietéticas, los subproductos de frutas y verduras pueden desgrasarse antes del secado y la molienda. El sistema de baño ultrasónico presentado en la Figura 2: genera sonicación mediante conjuntos de transductores ultrasónicos, que pueden colocarse bajo el fondo del tanque de extracción (Figura 2:a), en los laterales del tanque de extracción (Figura 2:b), o en forma de caja de conjunto de transductores individuales (Figura 2:c). La caja del conjunto de transductores individuales puede colocarse en el tanque en cualquier posición y dirección, lo que facilita la distribución de presión acústica en el medio. Los transductores de sistemas de baño ultrasónico suelen tener una gran superficie. El accionamiento de los transductores también

puede fijarse a superficies (el fondo o los laterales de la cuba), que son incluso mayores que la superficie del transductor, para que vibren y generen ondas sonoras en el centro de la cuba. Esto demuestra que la energía sonora proviene de superficies grandes y de baja intensidad sonora (Wen *et al.*, 2020).

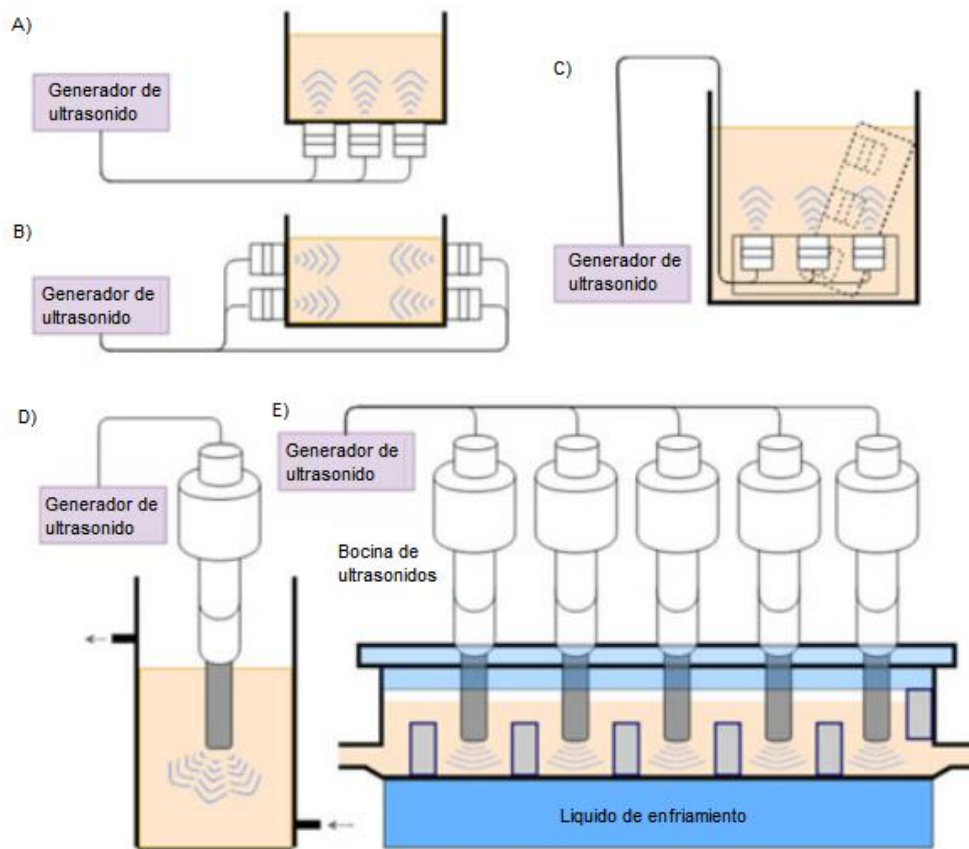


Figura 2: Diferentes tipos de sistema de extracción asistida por ultrasonidos, (a) baños de ultrasonidos con transductores ultrasónicos bajo el fondo del recipiente; (b) baño de ultrasonidos con los transductores en el lateral del recipiente; (c) baño de ultrasonidos con los transductores en una caja de matriz individual (d) bocina ultrasónica; y, (e) unidad de extracción continua basada en bocina ultrasónica. Adaptado de (Wen *et al.*, 2020).

5.2 Aplicaciones

Para la industria alimentaria el uso de ultrasonidos es cada vez más importante en cualquier proceso. La matriz principal de la extracción asistida por ultrasonido es

vegetal. Los compuestos extraídos se utilizan de muchas formas: de inmediata (licor), como aditivos alimentarios o cosméticos (aceite esencial) (Chemat et al., 2011).

La aplicación del US a la extracción de compuestos bioactivos de interés para la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética tales como antioxidantes, derivados fenólicos, aceites esenciales, saponinas, pigmentos naturales y tinturas medicinales, provenientes de diversos materiales vegetales, muestran las ventajas del empleo de este procedimiento en relación con las metodologías tradicionales.

En todos los casos, con el empleo del US la extracción a una menor temperatura o tiempo de reacción respecto a los métodos tradicionales, con veneficios a la pureza y los rendimientos del compuesto extraído.

6. FLUIDOS SUPERCRITICOS

Los fluidos supercríticos (FSC) tienen la capacidad de extraer ciertos compuestos químicos con el uso de determinados solventes específicos bajo la combinación de temperatura y presión (Brunner, 2005; Rozzi y Singh, 2002). Un fluido supercrítico es cualquier sustancia a una temperatura y presión por encima de su punto crítico termodinámico. Tiene la propiedad de difundirse a través de los sólidos como un gas, y de disolver los materiales como un líquido.

6.1 Fundamento

En este caso, la extracción con FSC, las sustancias pueden transformarse en fluidos supercríticos luego de absorber energía en forma de calor que eleva su temperatura sobre las condiciones de temperatura crítica (Zhou et al., 2021). Las propiedades más importantes de los fluidos supercríticos es que sus densidades y viscosidades adoptan valores intermedios entre la de líquido y la de gas, esto permite que muchas sustancias sean miscibles con componentes puros que se encuentran en sus condiciones supercríticas. Además, bajo condiciones supercríticas algunos gases no son químicamente reactivos por lo que son considerados para uso en procesos de extracción (Pinto et al., 2020; Fornereto et al., 2021; Kitrytmi et al., 2020). Se ha

usado en algunos métodos analíticos como detector del contenido de grasa por medio de la fase móvil usando técnicas analíticas de cromatografía (Rozzi y Singh, 2002). El uso de métodos analíticos por medio de los FSC se ha aplicado a una gran variedad de productos alimenticios desde la carne de res hasta las semillas y vegetales que presentan un alto contenido de ácidos grasos.

6.2 Aplicaciones

Podemos aplicarlos en diferentes métodos comerciales de la extracción con los FSC en la agroindustria agroalimentaria son: el fraccionamiento y la extracción de aceites y grasas, la extracción de antioxidantes naturales, la extracción de alcaloides, aromas y especias (García et al., 2015).

El empleo de los fluidos supercríticos para extracción selectiva de diferentes compuestos resulta de gran interés ya que se alcanzan altas tasas de difusión en el material vegetal y un mejor transporte de mas con distintas presiones. Los más utilizados en los estudios de extracción son dióxido de carbono y agua por ser los más baratos. Ejemplo de ello es la utilización, en las industrias farmacéutica y alimenticias del CO₂ para la extracción de aceites de sustratos vegetales lo que mejora la calidad y los rendimientos del compuesto extraído.

7. CALENTAMIENTO OHMICO

El calentamiento óhmico, es una tecnología alternativa que ha venido creciendo en su popularidad en la industria de los alimentos. Se produce cuando una corriente eléctrica alterna pasa a través de un alimento, provocando un aumento de la temperatura en su interior como resultado de la resistencia que ofrece el alimento al paso de la corriente (Camargo et al., 2010). Las ventajas del uso del CO con el procesamiento de alimentos respecto al calentamiento convencional incluyen las disminuciones de los tiempos de procesamiento lo cual permite que el alimento conserve su calidad nutrimental, uniformidad del flujo de calor en el alimento por lo que no existe sobrecalentamiento del producto, una eficiencia energética del 90% y

además es una tecnología amigable con el medio ambiente, ya que no se genera remanentes durante el proceso (Gaytán Martínez et al., 2012).

7.1 Fundamento

El calentamiento óhmico es un proceso térmico en el cual el calor es generado internamente en el alimento, el cual actúa como resistencia al paso de la corriente eléctrica alterna (CA). Además del aumento de temperatura en el producto se producen cambios en la estructura celular, puntualmente sobre el tejido de la membrana plasmática, variando su permeabilidad en distintos grados (fenómeno conocido como electroporación).

El proceso óhmico es un método rápido que lleva entre pocos segundos o minutos para generar el calor y en la extracción de aceites esenciales.

Se considera como un método nuevo para extraer aceites esenciales además como una tecnología verde ya que requiere de menos energía por ml obtenido de extracto de aceite esencial, haciendo este método amigable con el medio ambiente porque no requiere de ningún solvente orgánico.

7.2 Aplicaciones

Actualmente, existen muchos ensayos y aplicaciones sobre el calentamiento óhmico debido a sus diferentes beneficios ya que este puede conducir a una disminución en los gradientes de temperatura internos y un aumento de temperatura más rápido/homogéneo (Fadl y Liu, 2014).

Estudios donde aplicaron el calentamiento óhmico a un mosto base de cerveza, evaluando tanto sus beneficios como los riesgos potenciales; tales como la formación de compuestos no deseados, contaminación por el metal, degradación de nutrientes y alteraciones sensoriales por lo tanto optimizaron este proceso para mantener la calidad y la seguridad de la cerveza, minimizando los riesgos asociados a las micotoxinas, ya que se ha evidenciado que el calentamiento óhmico puede conservar productos de manera eficiente; sin embargo, existen alimentos sensibles a dicho proceso (Gavahian y Chu, 2022).

8 CONCLUSION

La técnica de extracción de compuestos bioactivos se ha vuelto notable a través del tiempo, ya que su evolución ha dado lugar a nuevos métodos para su aplicación en distintas industrias.

Su propósito específico es mantener el principio activo de las extracciones de compuestos bioactivos según sea el caso de acuerdo a la tecnología implementada, para ser extraído de una manera controlada; aportando mejoras como: alargar la vida de anaquel; permitiéndole así un gran número de aplicaciones en la industria de alimentos, farmacéutica, agrícola, etc.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Azmir, J., Zaidul, ISM, Rahman, MM, Sharif, KM, Mohamed, A., Sahena, F., ... y Omar, AKM (2013). Técnicas de extracción de compuestos bioactivos de materiales vegetales: una revisión. *Revista de ingeniería alimentaria* , 117 (4), 426-436.

Bouazizi, S., Montevecchi, G., Antonelli, A. y Hamdi, M. (2020). Efectos de la harina de cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.) como ingrediente innovador en la formulación de galletas. *Peso* , 124 ,

Banožić, M., Babić, J., y Jokić, S. (2020). Avances recientes en la extracción de compuestos bioactivos de los desechos industriales del tabaco: una revisión. *Cultivos y productos industriales* , 144 , 11/2009.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, AG, Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, AS, & Abert-Vian, M. (2017). Extracción asistida por ultrasonidos de alimentos y productos naturales. Mecanismos, técnicas, combinaciones, protocolos y aplicaciones. Una revisión. *Sonoquímica ultrasónica* , 34 , 540-560.

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32083/TFG-G3026.pdf?sequence=1>

FONSECA, L. J. (2022). Extracción por ultrasonido de compuestos bioactivos de ajo (*Allium sativum*) para su aplicación como antioxidante natural en carne para (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO).

Kaderides, K., Papaoikonomou, L., Serafim, M. y Goula, AM (2019). Extracción asistida por microondas de fenólicos de cáscaras de granada: optimización, cinética y comparación con la extracción por ultrasonidos. *Ingeniería química y procesamiento-Intensificación de procesos* , 137 , 1-11.

Kumar, K., Srivastav, S. y Sharanagat, VS (2021). Extracción asistida por ultrasonidos (UAE) de compuestos bioactivos de subproductos del procesamiento de frutas y verduras: una revisión. *Sonoquímica ultrasónica* , 70 , 105325.

Mandal, V., Mohan, Y., y Hemalatha, SJPR (2007). Extracción asistida por microondas: una herramienta de extracción innovadora y prometedora para la investigación de plantas medicinales. *Pharmacognosy reviews* , 1 (1), 7-18.

Pérez-Loredo, M. G., Jesús, H. D., & Barragán-Huerta, B. E. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. *Agrociencia*, 51(2), 135-151.

Rubiano-Charry, K. D., Ciro-Velásquez, H. J., & Aristizabal-Torres, I. D. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).

Rubio García, J. (2018). Extracción de compuestos bioactivos mediante pretratamiento con microondas de subproductos vitivinícolas. Valorización del raspón de la uva.

Salas, B. A. V., Rosero, C. A. R., & Quelal, O. M. (2024). Efecto de la pasteurización y calentamiento óhmico en la detección de deoxinivalenol en mosto base de cerveza artesanal. *Ciencia y Tecnología*, 17(2), 80-86.

Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis* y *Quercus sideroxylla*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(4), 701-714.

Trejo-Márquez, M. A., Vargas-Martínez, M. G., Sánchez-Soto, A., Vargas, A. A. L., Pascual-Bustamante, S., López, G. G., & González, A. G. V. (2015). Extracción de compuestos bioactivos de plantas del desierto mexicano para su aplicación en envases activos para zarzamora. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 101-107.

Velásquez-García, J., Gutierrez, D. J., Andrade-Mahecha, M. M., & Martínez-Correa, H. A. (2016). Pretratamiento con ultrasonido en extracción de compuestos bioactivos de mesocarpio de chontaduro (*Bactris gasipaes*) usando CO₂ supercrítico. *Agron. Colom*, 34, 1370-1373.

Vieira, JM, Mantovani, RA, Raposo, MFJ, Coimbra, MA, Vicente, AA, & Cunha, RL (2019). Efecto de la temperatura de extracción en el comportamiento reológico y la capacidad antioxidante de la goma de linaza. *Carbohydrate Polymers*, 213, 217-227.

Wong-Paz, J. E., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñiz-Márquez, D. B. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-11.