

Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA)

Fecha de recepción: 22/03/07
Fecha de aceptación: 08/05/07

Rocío Azuola¹
Pedro Vargas²

Compuestos presentes en los vegetales con propiedades funcionales o tecnológicas, han cobrado gran importancia en los mercados de alimentos, farmacéuticos y cosméticos. Se buscan métodos eficientes, económicos y favorables al ambiente para la extracción de estas sustancias.

Palabras clave

Extracción por ultrasonido, alimentos funcionales.

Key words

Ultrasonic extraction, functional foods.

Resumen

Compuestos presentes en los vegetales con propiedades funcionales o tecnológicas, han cobrado gran importancia en los mercados de alimentos, farmacéuticos y cosméticos. Se buscan métodos eficientes, económicos y favorables al ambiente para la extracción de estas sustancias. Se ha realizado un estudio bibliográfico de las publicaciones recientes sobre diferentes métodos de extracción y su comparación a las extracciones asistidas por ultrasonido (EAU) con el fin de evaluar su eficacia y viabilidad industrial. Se ha encontrado que la EAU es más eficiente que los métodos de extracción tradicionales, y más económica y sencilla que los métodos de extracción no tradicionales como la extracción asistida

por microondas, por lo cual se comprueba su viabilidad industrial.

Abstract

Different kinds of food compounds with functional properties have become very important in food, pharmaceutical and cosmetic market. Efficient environmental friendly technique research is a urgent necessity. This review compares the last compound extraction methods with Ultrasound Assisted Extraction in order to evaluate its efficiency and feasibility. It was found that Ultrasound Assisted Extraction is more efficient, more economical and easy than the traditional methods as microwave extraction.

Introducción

Los materiales vegetales son recursos invaluables y útiles diariamente, los cuales proveen un recurso interminable de materia prima a las industrias farmacéutica, cosmética y de alimentos. Sus primeros usos en la Antigüedad fueron con fines nutricionales,

1. Posgrado en Ciencias de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro. Costa Rica. Tel. 207-3504. Correo electrónico: rocio.azuola@gmail.com.
2. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San Pedro. Costa Rica. Tel: 207-3469. Correo electrónico: povargas@cariari.ucr.ac.cr

Con el fin de conocer si la extracción asistida por ultrasonido es más eficiente que otros métodos, lo cual garantizaría su expansión en la industria alimentaria, se realizó una investigación bibliográfica de diversas publicaciones científicas recientes, acerca de los fundamentos de la técnica y el estudio de su eficiencia con respecto a otros métodos de extracción utilizados actualmente

pero sus cualidades médicas fueron descubiertas muy pronto por los pueblos antiguos, tales como los egipcios, hebreos, griegos, romanos, rumanos y chinos. El interés por las hierbas aromáticas se ha intensificado en los últimos tiempos, con la identificación de nuevos compuestos útiles para las distintas industrias y el descubrimiento de nuevas aplicaciones (Vinatoru, 2001).

Subgrupos naturales encontrados en distintas plantas, tales como las isoflavonas de la soya, los flavonoides, diversos antioxidantes y ácidos orgánicos de plantas y frutas, se han asociado con efectos biológicos positivos tales como disminución del riesgo del cáncer de seno, próstata y colon; prevención de los síntomas menstruales y la osteoporosis (Rostagno *et al.*, 2003), tratamientos de artritis, enfermedades del riñón y resfriados (Gao & Liu, 2005). Estos compuestos tienen además interés tecnológico por sus diversas aplicaciones industriales, tales como el uso de ácido tartárico para incrementar la acidez total en vinos (Palma & Barroso, 2001) y la extracción de aromas y sabores naturales para su uso en la industria de alimentos (Mason, 1999). Estos compuestos tienen gran futuro en su uso en los alimentos funcionales, incorporándolos en productos que se consumen regularmente, con el fin de darle un valor adicional con efecto beneficioso para la salud del consumidor. Tiene también aplicaciones revolucionarias como la alelopatía, la cual consiste en utilizar sustancias propias de las plantas para controlar el crecimiento de otras plantas en su vecindario (Vinatoru, 2001). Se ha determinado que, en algunos casos, la extracción puede ser más económica que la síntesis química de los compuestos de interés, razón por la cual una extracción que permita mayor productividad es definitivamente el interés de la industria, tal es el caso del ácido tartárico en la industria productora de vinos (Palma & Barroso, 2001).

Este interés ha guiado la investigación en busca de nuevos métodos para extraer las sustancias de interés de los materiales

vegetales (Djilani, Legseir, Soulimani *et al.*, 2006), que sean más productivos y amigables con el medio ambiente que los métodos tradicionales (Rostagno *et al.*, 2003).

Esta recopilación pretende describir los principios en los cuales se basa el método de extracción asistida por ultrasonido (EUA) y comprobar su eficiencia con respecto a los métodos tradicionales de extracción de sustancias, con el fin de determinar si su uso se expandirá en la industria en los próximos años.

Metodología

Con el fin de conocer si la extracción asistida por ultrasonido es más eficiente que otros métodos, lo cual garantizaría su expansión en la industria alimentaria, se realizó una investigación bibliográfica de diversas publicaciones científicas recientes, acerca de los fundamentos de la técnica y el estudio de su eficiencia con respecto a otros métodos de extracción utilizados actualmente.

La eficiencia se calculó como la razón de la masa obtenida (mg) del compuesto de interés y el tiempo necesario para alcanzar esa extracción.

El ultrasonido en la industria alimentaria

La primera aplicación comercial del ultrasonido fue en 1917; desde entonces, el tema se ha desarrollado y expandido a un gran número de aplicaciones. Los proyectos más importantes que envuelven esta técnica no se encuentran entre los confines de la química, sino en tecnologías de procesamiento, ya que ha sido mejor reconocido en la industria que en los ámbitos de la ciencia pura (Mason, 1999).

Tipos de ultrasonido

Según el Centro de Sonoquímica de la Universidad de Coventry en el Reino Unido, el ultrasonido es utilizado por la posibilidad de realizar evaluaciones no

invasivas ni destructivas, y por ser fuente de energía (2006). Según este criterio, sus aplicaciones pueden dividirse en ultrasonido de señal y de potencia.

Ultrasonido de señal (100 kHz a 1 MHz)

En el ultrasonido de señal, el producto modifica la señal, y esta proporciona información sobre dicho producto. Son utilizadas para monitorear un proceso o producto; además, y son señales de ultrasonido de baja intensidad. Ejemplos de aplicaciones en la industria alimentaria incluyen: medida del grosor de la carcasa en animales vivos, medición del grosor de la cáscara de huevos, detección de agujeros en quesos y papas, medición de estado de maduración en melones y aguacates, determinación de propiedades reológicas en quesos, propiedades de textura en frutas como manzana, kiwi y melocotón y determinación de edad de huevos y papas (Mulet *et al.*, 1999).

Ultrasonido de potencia (18-100 kHz)

Hoy el ultrasonido de potencia se considera una prometedora tecnología para la industria de procesamiento de alimentos (The Sonochemistry Centre, 2006). Son señales de alta intensidad que se utilizan para modificar un proceso o un producto (Mulet *et al.*, 1999). Con una frecuencia más baja y mayor potencia producen cambios físicos y químicos en el medio a través de la generación y subsiguiente colapso de burbujas de cavitación, las cuales aparecen, crecen y colapsan dentro del líquido. Esto ocurre asimétricamente cerca de las interfases y golpes sobre la superficie sólida. Se requiere de un medio líquido, un generador de energía y un transductor, el cual convierte energía eléctrica, magnética o cinética en energía acústica (Mulet *et al.*, 2003).

Actualmente, existen tres diferentes tipos de transductores:

- a) Transductores de manejo de líquidos: producen una onda acústica cuando la energía cinética del líquido hace

que una parte móvil del sistema vibre. Ejemplos de estos son las sirenas y pitos (Mulet *et al.*, 2003). Son equipos muy durables especialmente importantes para procesos de homogeneización y mezclado (Mason, 1999).

- b) Transductores magnéticos: se basan en el cambio de dimensión de un material debido a la aplicación de un flujo magnético (Mulet *et al.*, 2003). Son muy poderosos, pero su eficiencia eléctrica es menor al 60%. Considerados para aplicaciones de uso muy pesado (Mason, 1999).
- c) Transductores piezoeléctricos: la piezoelectricidad es la habilidad de los cristales para generar un voltaje en respuesta a un estrés mecánico aplicado (Wikipedia, 2006). Estos transductores producen energía acústica por medio de cambio en el tamaño, debido a señales eléctricas en materiales piezocerámicos. Ejemplos de estos equipos son los baños ultrasónicos utilizados en equipos experimentales (Mulet *et al.*, 2003). Son los equipos más ampliamente utilizados; usan cargas con distintas polaridades hacia las cuales el material responde por contracción o expansión. Altamente eficientes (>95%), pueden utilizarse en un amplio rango de frecuencias (Mason, 1999).

Según Mason (1999), ha sido bien reconocido por muchos años que esta técnica tiene gran potencial para su uso en una gran variedad de procesos, aunque no han sido ampliamente explotados hasta la fecha. Algunos posibles usos del ultrasonido de potencia se citan a continuación:

- a) Limpieza y desinfección: por remoción de contaminación biológica debido al colapso cavitacional cerca de la superficie. Alcanza puntos que son difícilmente cubiertos por métodos convencionales de limpieza. Según Phull *et al.*, en Mason (1999), aumenta la eficiencia de desinfectantes como el cloro para la descontaminación

del agua. En 1997, Tiehm estudió el efecto del ultrasonido en el tratamiento de aguas y encontró que el proceso anaeróbico de digestión se aceleró considerablemente al reducir el tiempo de 20 a 8 días, y aumentar la producción de biogás 2,2 veces más que en un fermentador control (Mason, 1999).

- b) Mezclado y emulsificación: se generan bases emulsificadas para sopas y salsas, que al pasar por el homogeneizador ultrasónico tienen una textura suave y mejor sabor (Mason, 1999).
- c) Impregnación: la impregnación de pigmentos en cuero se ve sustancialmente incrementada por el uso del ultrasonido durante el proceso (Xie *et al.*, 1997).
- d) Filtración: la aplicación de ultrasonido permite al sistema operar más eficientemente y por períodos más largos, sin necesidad de mantenimiento, limpieza y cambios de filtros (Mason, 1999).
- e) Cristalización y precipitación: Price, en 1997, comprobó que el ultrasonido puede iniciar la cristalización y controlar el crecimiento de los cristales en medio saturados o enfriados, produciendo cristales uniformes (Mason, 1999).
- f) Congelación: mejora el coeficiente de transferencia de calor y ha sido utilizado para acelerar procesos de congelación por inmersión de papas (Mulet *et al.*, 2003).
- g) Deshidratación: mejora los procesos de secado en arroz, zanahorias, cebolla, y deshidratación osmótica de manzana (Mulet *et al.*, 2003).
- h) Extracción: las técnicas clásicas de extracción de solventes a partir de material vegetal se basan en la correcta elección del solvente y condiciones como temperatura y agitación. Vinatoru *et al.*, en 1997, demostró que la extracción por solvente de compuestos orgánicos en materiales vegetales es significativamente más eficiente utilizando el ultrasonido de poder (Mason, 1999).

El mecanismo de extracción involucra dos fenómenos físicos: difusión a través de la pared celular y el lavado de los contenidos celulares, una vez que las paredes se han roto (Vinatoru, 2001)

Fundamentos de las técnicas de extracción de sustancias

Para obtener un extracto, primero que todo es importante identificar la hierba deseada y la parte que contiene los constituyentes útiles. Adicionalmente, la determinación de una técnica precisa de cosecha y métodos de preservación de la planta por utilizar es de crucial importancia. El mecanismo de extracción involucra dos fenómenos físicos: difusión a través de la pared celular y el lavado de los contenidos celulares, una vez que las paredes se han roto (Vinatoru, 2001).

Extracción por métodos tradicionales

- a) Extracción por solventes: se basan principalmente en la selección de solventes, temperatura o agitación, con el fin de incrementar la solubilidad de los materiales y la tasa de transferencia de masa (Gao & Liu, 1997). Se separan los compuestos con base en sus solubilidades por dos líquidos inmiscibles, usualmente agua y un solvente orgánico. En la industria, este proceso se realiza continuamente bombeando una corriente orgánica y otra acuosa dentro de una mezcladora, donde se mezclan ambos componentes y se permite el intercambio iónico hasta que se logra el equilibrio. (Wikipedia, 2006). La introducción de un transductor ultrasónico dentro de la unidad de extracción, puede incrementar considerablemente la eficiencia del método, debido a que, por lo general, se utilizan solventes fríos (Vinatoru, 2001).
- b) *Soxhlet*: un tipo de material de vidrio utilizado para la extracción de compuestos, generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido, por medio de un solvente afín. El equipo está integrado por un extractor, un condensador especial de tipo bulbo y un matraz (véase figura 1). Funciona cíclicamente, cuando se evapora el solvente sube hasta el área donde es condensado; aquí, al caer y

regresar a la cámara de solvente, va separando los compuestos, hasta que se llega a una concentración deseada. (Wikipedia, 2006).



Figura 1. Equipo soxhlet

- c) Destilación: es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla, aprovechando las diferencias de volatilidades de los compuestos por separar. El aparato utilizado para la destilación en el laboratorio (figura 2) consta de un recipiente donde se almacena la mezcla, a la que se le aplica calor, un condensador donde se enfrían los vapores generados, llevándolos de nuevo al estado líquido y un recipiente donde se almacena este líquido concentrado (Wikipedia, 2006). En este método, los materiales vegetales son mezclados con agua, seguidos por el calentamiento o la introducción de una corriente de vapor. Durante la destilación, el uso de ultrasonido no tiene ningún efecto debido a las temperaturas de ebullición, pero puede ser utilizado para mejorar la extracción cuando se utilizan solventes de punto de ebullición bajo y la temperatura de extracción se mantiene por debajo del punto de ebullición de la mezcla (Vinatoru, 2001).

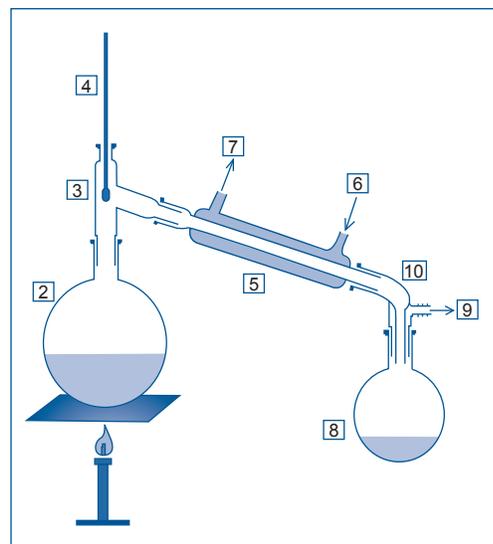


Figura. 2. Equipo de laboratorio para destilación simple

Extracción por métodos no tradicionales

Según Gao & Liu (2005), los métodos de extracción más modernos se basan en la mejora de la eficiencia de los métodos tradicionales por acción física sobre el medio.

- Extracción asistida por microondas: la irradiación de microondas causa movimiento moléculas por migración de iones y rotación de dipolos que contribuyen a una rápida transferencia de energía al solvente y materia vegetal.
- Extracción por fluidos supercríticos: un fluido supercrítico es cualquier sustancia a una temperatura y presión sobre su punto crítico termodinámico (véase figura 3). Tiene una habilidad única para difundirse a través de los sólidos como un gas y de disolver materiales como un líquido, generando solvente de baja viscosidad, altas tasas de difusión y sin tensión superficial. Se utilizan, principalmente, dióxido de carbono y agua. Se puede realizar una extracción selectiva de diferentes compuestos utilizando distintas presiones del fluido supercrítico (Vinatoru, 2001).

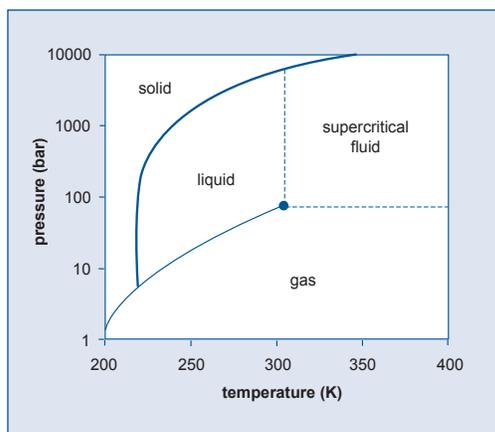


Figura. 3. Diagrama de fase del dióxido de carbono

- c) Extracción turbo: utiliza un agitador de alta velocidad, que induce cavitación hidrodinámica, aumentando el rendimiento de extracción, ya que se aumenta el contacto entre el material vegetal y el solvente y el proceso de difusión a través de las paredes celulares se incrementa (Vinatoru, 2001).
- d) Extracción eléctrica: se aplican descargas eléctricas a la mezcla de extracción, incrementando la extracción hasta un 25% al formarse burbujas de cavitación (Vinatoru, 2001).
- e) Extracción asistida por ultrasonido: la extracción asistida por ultrasonido utiliza sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender el compuesto buscado del material vegetal. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente (Gao & Liu, 2005). Según Rostagno *et al.*, esta técnica es la más económica y tiene los requerimientos instrumentales más bajos entre las últimas técnicas de extracción desarrolladas (2003).

Los fenómenos físicos que afectan la extracción de sustancias se ven afectados por la *sonificación*, ya sea que las sustancias de interés se encuentren en células internas

o externas del tejido. Al reducir el tamaño de las partículas del material vegetal se aumenta el área de exposición al solvente y a la cavitación producida.

El ultrasonido además facilita la rehidratación del tejido si se están utilizando materiales secos al abrir los poros, lo cual a su vez incrementa el transporte de masa de los constituyentes solubles por difusión y procesos osmóticos (Vinatoru, 2001).

En la figura 4 se observan distintos equipos experimentales comúnmente utilizados en la extracción de sustancias asistida por ultrasonido.

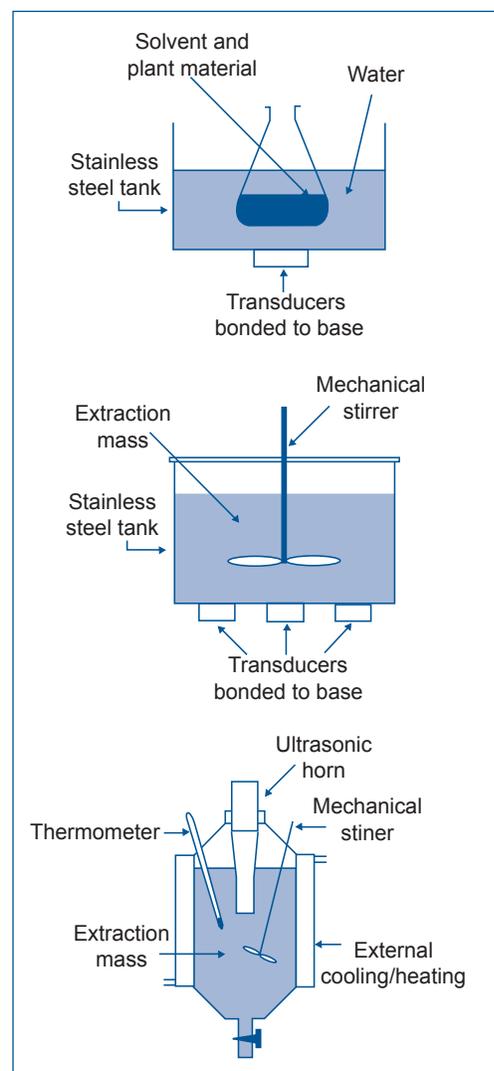


Figura. 4. Equipos experimentales utilizados para la extracción por ultrasonido

Comparación en la eficiencia de los métodos de extracción

Eficiencia de la extracción asistida por ultrasonido con respecto a métodos tradicionales

En 2005, Gao demostró que la extracción asistida por ultrasonido de flavonoides en *Saussurea medusa* Maxim (una valiosa y tradicional hierba china) tiene ventajas de eficiencia y simplicidad sobre métodos tradicionales como extracción por solventes a temperatura ambiente, reflujo térmico y *soxhlet* (véase cuadro 1).

Cuadro 1. Extracción de flavonoides en *Saussurea medusa* Maxim, utilizando distintos métodos tradicionales y no tradicionales

| Técnica | Flavonoides (% m/m) | Tiempo | Eficiencia (mg/h) |
|---------------------------------|---------------------|--------|-------------------|
| Solvente a temperatura ambiente | 3,0 % | 24 h | 0,02 |
| Reflujo térmico | 3,9 % | 6 h | 0,13 |
| <i>Soxhlet</i> | 4,1 % | 20 h | 0,04 |
| Ultrasonido | 3,5 % | 30 min | 1,4 |
| Microondas | 4,1 % | 6 min | 8,2 |

Fuente: Gao & Liu, 2005

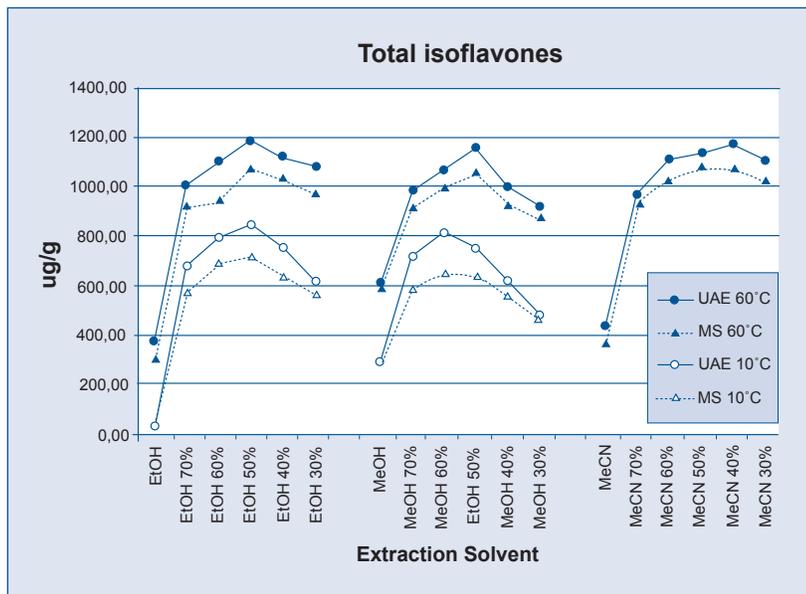


Figura. 5. Rangos de extracción de isoflavonas de soja ($\mu\text{g/g}$) obtenidas, utilizando diferentes métodos de extracción a 10 y 60 °C por 10 minutos

Según este estudio, el ultrasonido tiene una eficiencia 70 veces mayor que la extracción por solventes, 11 veces mayor que la extracción por destilación y 35 veces mayor que la extracción por *soxhlet*.

Tal como se puede observar en la figura 5, Rostagno *et al.*, encontraron que la eficiencia de la extracción de las isoflavonas de soja es incrementada por la acción del ultrasonido, con respecto al método tradicional utilizando metanol, etanol o acetonitrilo, a temperatura ambiente con agitación. Se obtuvieron de 6,4% a 25% más isoflavonas que utilizando el método tradicional por solventes.

Al realizar los ensayos a 10 y 60 °C, determinó que la mayor extracción se obtuvo utilizando EtOH 50%, a 60 °C, debido al aumento en el número de las burbujas de cavitación formadas al subir la temperatura (2003).

De la misma manera, Palma encontró que la extracción asistida por ultrasonido produjo de 30% a 200% más recuperación de isoflavonas en frijoles de soja que el método de extracción tradicional por solventes con mezclado y agitación utilizando metanol a diferentes concentraciones (2002). Las recuperaciones obtenidas para la isoflavona daidzin se muestran en el gráfico 1, donde también se puede observar que la extracción depende también del solvente utilizado.

Estudios realizados para extracción de alcaloides, los cuales están dentro de los grupos más importantes de metabolitos secundarios, muestran que la filtración de una solución *sonificada* en presencia de surfactantes (sustancias que influyen por medio de latensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases [Wikipedia, 2006]), aumenta la eficiencia y disminuye el consumo de solvente en comparación con extracción por solvente (etil acetato) y *soxhlet* (véase cuadro 2). Se obtuvieron alcaloides con una eficiencia mayor 8,14 y 46,85 veces mayor por utilización del ultrasonido que por el uso

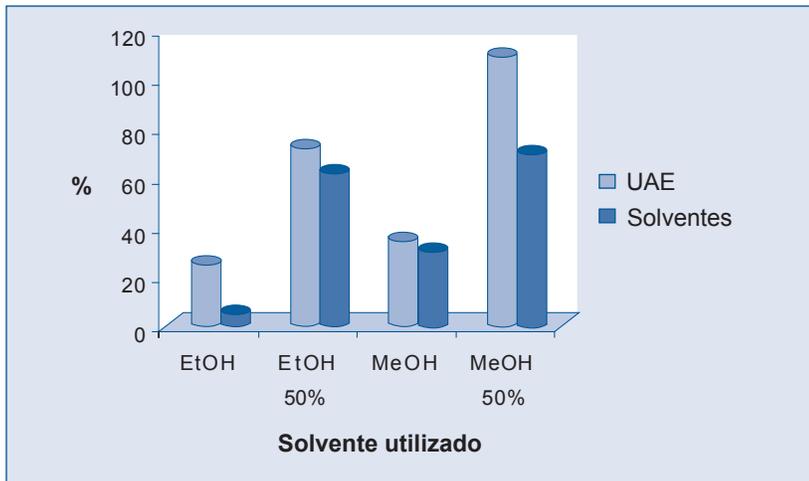


Gráfico 1. Recuperación obtenida para las extracciones de daidzin

Cuadro 2. Extracción de alcaloides por distintos métodos a partir de *H. muticus*

| Método de extracción | Tiempo | Total obtenido g/100 g | Eficiencia mg/h |
|------------------------|--------|------------------------|-----------------|
| Solventes | 72 h | 0,8 | 11,1 |
| Soxhlet | 18 h | 1,15 | 63,9 |
| Ultrasonido-filtración | 2,5 h | 1,3 | 520 |

Fuente: Djilani *et al.*, 2006.

de la extracción por *soxhlet* y solventes respectivamente

Los alcaloides obtenidos tienen las mismas características cualitativas en los tres métodos. (Djilani *et al.*, 2006).

Estudios demuestran que utilizando un reactor de 1 m³ de capacidad, diseñado en Rumania en 1995, se obtuvieron extractos de 12 hierbas 50% mayores durante 6 horas con *sonificación* que durante 28 días de maceración en agitación constante en etanol a 45 °C (Vinatoru, 2001).

Según Palma & Barroso, el ultrasonido produce una extracción mucho más rápida del ácido tartárico en las semillas de uva, que el método de extracción por maceración y mezclado con solventes,

obteniendo la misma cantidad de producto después de 30 min y 120 min, respectivamente. Ese resultado corresponde a una eficiencia 4 veces mayor que la del método ultrasónico con respecto al otro método. Ilustrativamente se puede observar la figura 6, donde se muestra que la extracción del ácido málico es mayor utilizando esta técnica, y se logra un rendimiento 45% superior al obtenido por la técnica convencional, con una eficiencia 1,5 veces mayor.

La determinación de la grasa dietética en productos alimenticios es de suma importancia para el etiquetado nutricional de los productos. Ruiz Jimenez y Luque de Castro realizaron un estudio comparativo de la obtención de grasas en productos de panificación y obtuvieron una eficiencia por lo menos 5 veces mayor para el método asistido por ultrasonido que para la extracción utilizando el equipo *soxhlet*. Resultados similares se obtuvieron en la extracción de aceite esencial de ajo, (Athanasios *et al.*, 2004) y ácido carnosínico, un antioxidante, de *Rosmarinus officinalis* (Abu *et al.*, 2004).

Eficiencia de la extracción asistida por ultrasonido con respecto a métodos no tradicionales

Según estudios realizados por Gao, la extracción asistida por microondas de flavonoides en *Saussurea medusa* Maxim es más eficiente sobre métodos tradicionales como extracción por solventes a temperatura ambiente, reflujo térmico y Soxhlet (véase cuadro 1). Adicionalmente, obtuvo mejores resultados utilizando el microondas que con la técnica de ultrasonido, pues hubo una eficiencia 5,86 veces mayor. Sin embargo, en productos en los cuales la temperatura de extracción puede afectar la funcionalidad de la sustancia extraída, el uso del ultrasonido es de suma importancia. Tal es el caso del aceite esencial de ajo, cuyos componentes se liberan por acción enzimática, la cual es desactivada por acción del calor y sea por

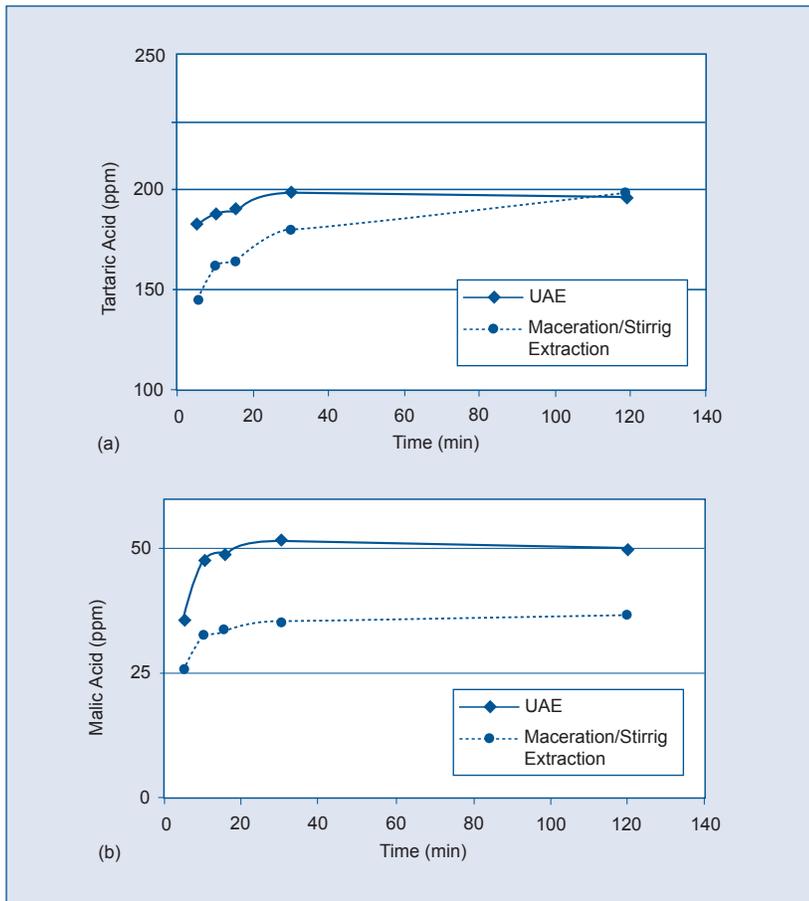


Figura. 6. Cinética de la extracción de ácido tartárico y ácido málico a partir de semillas de uva

el uso de microondas o por destilación. En este caso, la importancia del uso de la extracción asistida por ultrasonido es por la posibilidad de realizar la extracción a temperatura ambiente. En sus estudios Athanasios *et al.*, encontró que la extracción asistida por ultrasonido presentó mejores resultados que la extracción asistida por microondas en cuanto a las cantidades de los componentes deseables en el aceite esencial de ajo, obteniendo así 70,8% y 33,6% respectivamente (2004).

La Oficina de Investigación y Desarrollo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de la OTT, asegura que el principal problema de la extracción por fluidos supercríticos es el tiempo largo de extracción, a veces de hasta 24 horas,

lo cual lo convierte en una técnica con aplicaciones muy limitadas. Se realizó un estudio donde se utilizó la extracción con fluidos supercríticos sobre almendras con ultrasonido o sin este; con resultados de 15 a 20% de mayor extracción utilizando ultrasonido (2004).

Optimización del método

Según Palma & Barroso, las variables que se deben analizar para optimizar la técnica de extracción asistida por ultrasonido son temperatura, solvente, volumen del solvente, tiempo de extracción, tamaño de la punta de prueba, poder del ultrasonido y duración del ciclo aplicado. Analizar estas variables para la extracción de ácido málico y tartárico a partir de uvas y semillas de uva, se determinó que a mayor temperatura, mayor extracción de estos compuestos (2002). Según Cabrero Pinillos *et al.*, otra variable importante por analizar durante la optimización del método de extracción asistida por ultrasonido es la concentración de sales en el medio, ya que estas disminuyen la solubilidad de analitos en el medio, favoreciendo su extracción. Durante su investigación, encontraron que los mejores resultados para la extracción de compuestos volátiles en vinos, se obtuvieron al añadir cloruro de sodio (2006).

Disponibilidad de los equipos y viabilidad industrial

Según Rostagno *et al.*, la extracción asistida por ultrasonido utiliza una técnica económica y de bajos requerimientos instrumentales, al compararla con otros métodos innovadores como el de extracción de líquidos supercríticos y la extracción asistida por microondas (2003).

Según Cabrera-Pinillos *et al.*, es necesario considerar opciones tales como la extracción asistida por ultrasonido previa al análisis cromatográfico pues otras técnicas como la Microextracción de fase sólida (SPME) aunque está ganando popularidad en este campo, requiere una

instrumentación costosa y muy específica, la cual no podría estar presente en todos los laboratorios.

La extracción asistida por ultrasonido en laboratorio no es difícil utilizando un baño, equipos que son fácilmente adquiribles en el mercado de variadas marcas internacionales. También se pueden conseguir equipos de casa comerciales a escala industrial para utilizar en procesos como homogeneización, emulsificación, dispersión, molienda y limpieza. Hay empresas en el mercado internacional que ofrecen el diseño de equipos para llevar a gran escala los descubrimientos en laboratorio. (Hielscher, 2006). Algunos investigadores han propuesto diseños de equipos de extracción asistida por ultrasonido para ser utilizados en la industria (véase figura 7).

Con el fin de establecer la extracción por ultrasonido como una nueva tecnología industrial, es importante identificar los parámetros necesarios para su aplicación a

gran escala. El primer paso es identificar un producto comercial para luego comprobar el incremento en la eficiencia del método por acción de la *sonificación* (Vinatoru, 2001).

Según Cabredo-Pinillos, *et. al.*, una de las principales ventajas de esta técnica es que comparado con otros métodos convencionales es que requiere una instrumentación simple y rápida (2005). Adicionalmente, según el CSIC el emisor de ultrasonidos no ocupa mucho espacio ni supone un aumento de precio muy grande con respecto a los equipos habituales de extracción (2004).

Conclusiones

Se ha comprobado mediante distintos estudios que la extracción asistida por ultrasonido es más eficiente que la extracción por métodos tradicionales y que también puede asistir a métodos de extracción no convencionales, tales como la extracción por fluidos supercríticos.

El aumento de la eficiencia no solo depende del método de extracción, sino, también, del material por extraer, la temperatura, el solvente, la presencia de sales y el tiempo de *sonificación*.

Aunque otros métodos de extracción, como la extracción asistida por microondas, han probado ser más eficientes en algunos casos, requieren un equipo más especializado y son más costosos. Adicionalmente, utilizan tratamiento térmico rápido que puede afectar los compuestos de interés en la extracción. Hacen falta más estudios que comparen la EAU con otros métodos de extracción tales como extracción eléctrica y extracción turbo.

Se concluye que el método de extracción asistido por ultrasonido por su eficiencia, bajo costo y posibilidad de extracción a bajas temperaturas, se convertirá en una herramienta ampliamente aplicada tanto en la industria como en el laboratorio.

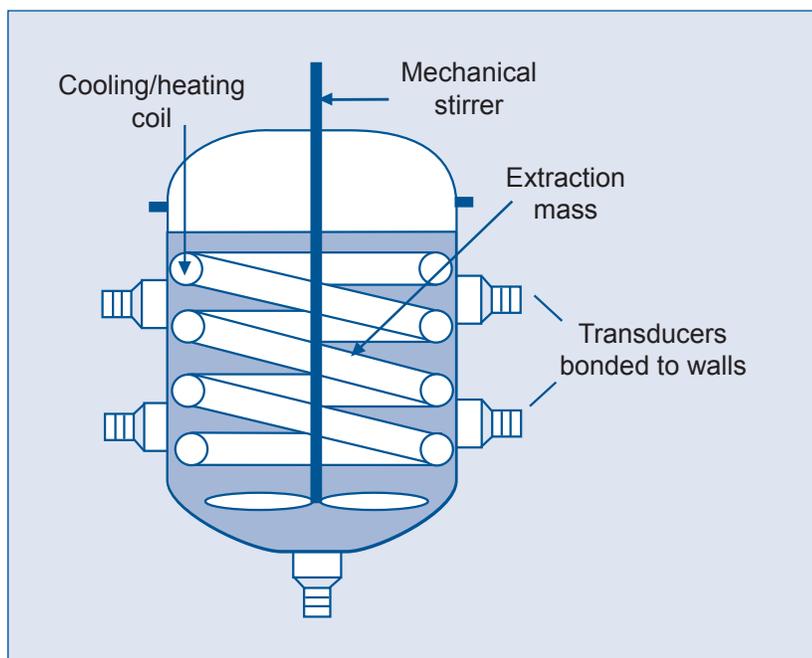


Figura 7. Diseño de equipo para extracción asistida por ultrasonido propuesto por Vinatoru

Bibliografía

- Albu, S.; Joyce, E.; Paniwnyk, L.; Lorimer, J.P. & Mason, T. J. 2004. *Potential for the use of ultrasound in the extraction of antioxidants from Rosmarinus officinalis for the food and pharmaceutical industry*. Sonochemistry Centre, School of Science and the Environment, Coventry University.
- Cabredo Pinillos, S.; Cedrón-Fernández, T.; González-Briongos, M.; Puente-Pascual, L. y Sáenz-Barrio, C. 2006. "Ultrasound assisted extraction of volatile compounds from wine samples: Optimisation of the method". *Talanta*. N.º 69: 1123-1129.
- CSIC, 2004. *Los ultrasonidos mejoran la extracción por fluidos supercríticos*. R+D CSIC. Internet.
- Djilani, A., Legseir, B., Soulimani, R., Docko, A. & Younous, C. 2006. "New extraction technique for alkaloids", *Journal of Brazilian Chemical Society*. 17 (3):518-520.
- GAO, M. & LIU, C. 2005. "Comparison techniques for the extraction of flavonoides from cultures cells of *Saussurea medusa Maxim*". *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 21: 1461-1463.
- Hielscher. *Ultrasound Technology*. 2006 Internet. www.hielscher.com
- Kimbaris, A.; Siatis, N.; Daferera, D.; Tarantilis, P.; Pappas, C.; & Polissiou, M. 2004. *Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (Allium sativum)*. Department of Science, Laboratory of Chemistry, Agricultural University of Athens,
- Mason, T. J. 1999. "Sonochemistry: current use and future prospects in the chemical and processing industries". *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 357(1751):355-369.
- Mulet, A., Benedito, J., Bon, J. & San Juan, N. 1999. "Revisión: Ultrasonidos de baja intensidad en tecnología de alimentos". *Food Science and Technology Internacional*. 5(4):285-297.
- Mulet, A., Carcel, J. A., Bon, J. & San Juan, N. 2003. "New food drying technologies- Use of ultrasound". *Food Science and Technology Internacional*. 9(3):215-221.
- Palma, M. & Barroso, C.G. 2001. "Ultrasound-assisted extraction and determination of tartaric and malic acids from grapes and winemaking by-products". *Analytica Chimica Acta*. N.º 458: 119-130.
- Rostagno, M., Palma, M. & Barroso, C. 2003. "Ultrasound-assisted extraction of soy isoflavones". *Journal of Chromatography A*. 1012: 119-128.
- Ruiz Jiménez, J. & Luque de Castro, D. 2003. *Forward-and-back dynamic ultrasound-assisted extraction of fat from bakery products*. Department of Analytical Chemistry, Faculty of Sciences, University of Córdoba, Annex Marie Curie Building, Campus of Rabanales.
- The Sonochemistry Centre. 2006. *Ultrasound in Food Technology*. Coventry University, London. INTERNET. <http://www.sonochemistry.info.food.html>
- Vinatoru, M. 2001. "An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs". *Ultrasonics Sonochemistry*. N.º 8: 303-313.
- Wikipedia, 2006. Internet. www.wikipedia.com