REVISTA DE INVESTIGACIÓN INTERCULTURAL
ASAMPITAKOYETE
UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

Vol. 1 Núm. 1 2025- ISSN: 3119-7132 (En línea)
Recibido: 12 de Junio de 2025 Aceptado: 26 de Agosto de 2025

ARTÍCULO DE REVISIÓN
https://doi.org/10.58719/fw095e32

APLICACIÓN DEL ULTRASONIDO EN EL DESHIDRATADO Y CONSERVACIÓN DE FRUTAS: UNA REVISIÓN

APPLICATION OF ULTRASOUND IN THE PROCESSING AND PRESERVATION OF FRUIT: A REVIEW

Ronald Marlon Lozano Reátegui [1] Vitelio Asencios Tarazona [1]

[1]Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, Pucallpa, Perú

Correspondencia:
Dr. Ronald Marlon Lozano Reátegui
rlozanor@unia.edu.pe

Cómo citar este articulo: Lozano, R., & Asencios, V. (2025). Aplicación del ultrasonido en el deshidratado y conservación de frutas: Una revisión. *Revista de Investigación Intercultural Asampitakoyete, 1*(1), 36–51. https://doi.org/10.58719/fw095e32

RESUMEN

La tecnología de ultrasonido surge como una alternativa no térmica e innovadora para optimizar la deshidratación y conservación de frutas. Este estudio analizó aplicaciones actuales, desafíos y perspectivas futuras mediante una revisión sistemática basada en las pautas PRISMA. La búsqueda en bases como Scopus, ScienceDirect y PubMed abarcó estudios de 2014 a 2024 sobre ultrasonido, procesamiento de frutas y deshidratación. Los análisis de estudios seleccionados muestran que el ultrasonido puede reducir el tiempo de secado hasta un 40 %, mejorar la transferencia de masa y calor, y preservar compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides y vitaminas. Además, los tratamientos combinados, como la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido y el secado al vacío, generan efectos sinérgicos, disminuyendo el consumo energético y mejorando la capacidad de rehidratación de los productos. Sin embargo, persisten desafíos en la optimización de parámetros como frecuencia, potencia y duración; así como, en la evaluación de la viabilidad económica para aplicaciones industriales a gran escala. La tecnología de ultrasonido se perfila como una solución eficiente y sostenible para mejorar los procesos de deshidratación de frutas, conservando la calidad nutricional y sensorial de los productos, aunque requiere ajustes para su implementación masiva.

Palabras clave: ultrasonido, frutas, deshidratación, conservación, procesamiento no térmico.

ABSTRACT

Ultrasound technology is emerging as an innovative, non-thermal alternative for optimizing fruit dehydration and preservation. This study analyzed current applications, challenges, and prospects through a systematic review based on PRISMA guidelines. The research in databases such as Scopus, ScienceDirect, and PubMed covered studies on ultrasound, fruit processing, and dehydration from 2014 to 2024. Analyses of selected studies show that ultrasound can reduce drying time by up to 40 %, improve mass and heat transfer, and preserve bioactive compounds

Esta obra está publicada bajo la licencia CC BY 4.0

such as polyphenols, carotenoids, and vitamins. Furthermore, combined treatments, such as ultrasound-assisted osmotic dehydration and vacuum drying, generate synergistic effects, reducing energy consumption and improving the rehydration capacity of products. However, challenges remain in optimizing parameters such as frequency, power, and duration, as well as in evaluating the economic viability for large-scale industrial applications. Ultrasound technology is emerging as an efficient and sustainable solution for improving fruit dehydration processes, preserving the nutritional and sensory quality of the products, although adjustments are required for widespread implementation.

Keywords: ultrasound, fruits, dehydration, preservation, non-thermal processing.

INTRODUCCIÓN

Las frutas se constituyen en importantes materias primas para la industria alimentaria, que se ve obligada a incrementar la oferta de productos frutícolas, obedeciendo según Rodrigues et al. (2023), al creciente deseo de alimentos más nutritivos, desafío que lleva a las empresas alimentarias, a innovar; y en respuesta a ello, las industrias, ya no se esmeran tan sólo en presentar un alimento a base de frutas, sino que se preocupan de agregar beneficios adicionales, que contribuya a mejorar la salud de los consumidores. Lupín et al. (2024), sostienen que el consumo de alimentos está ligado a estilos de vida que implican formas de alimentación más sanas, seguras y naturales, características propias de las frutas, por contener compuestos bioactivos, como las moléculas fenólicas, constituidos por flavonoides, los ácidos fenólicos y los taninos (Zeng et al., 2023), que poseen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Vodnar et al., 2019).

Los flavonoides, según Hasan et al. (2024), se subdividen en seis subclases diferentes: flavonoles, flavonoles, antocianinas, isoflavonas, flavonas y flavanonas, los cuales se encuentran presentes en diferentes partes de las frutas, como cáscara de plátano, de mango, de naranja y pulpa de manzana y han demostrado actividades antimicrobianas y antioxidantes. Los ácidos fenólicos están formados por un solo anillo fenólico y un ácido carboxílico orgánico, dividiéndose en dos clases: ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos, con actividad antioxidante y antimicrobiana, que depende de la posición del hidroxilo y del ácido carboxílico, mostrándose que los ácidos hidroxicinámicos tienen mayor actividad antioxidante que los hidroxibenzoicos (Trigo et al., 2022).

Por otra parte, los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua con capacidad de precipitar proteínas y poseer buena actividad antioxidante, debido a su composición química; pues los múltiples grupos hidroxilo fenólicos pueden eliminar radicales libres e inhibir la peroxidación lipídica (Fraga et al., 2021); además, poseen actividad antimicrobiana, al ser capaces de inhibir la actividad enzimática, el agotamiento de iones metálicos y la precipitación de proteínas de membrana (Trigo et al., 2022).

Según Bhargava et al. (2021), El procesamiento de alimentos desempeña un papel importante para enfrentar los desafíos que presenta la seguridad alimentaria, como la reducción del desecho y la prevención del deterioro. El procesamiento de la pulpa de frutas hace posible su conservación, y si no es muy drástico, incluye el de sus nutrientes durante más tiempo, hasta en el período de almacenamiento, cuando no es su temporada. El secado es un proceso crucial en la fabricación de pulpas deshidratadas de frutas; sin embargo, puede conllevar en las especies más susceptibles a ser más sensibles al calor; al exponerse al tratamiento térmico, pueden sufrir cambios físicos, químicos

y microbianos, como la modificación del sabor, el color y la textura. Los cambios afectan propiedades físicas, químicas y nutritivas de las frutas y sus derivados, sobre todo en los componentes termolábiles como la vitamina C (ácido ascórbico), las antocianinas, los compuestos fenólicos, y los carotenoides (Anticona et al., 2020; Siswandi et al., 2023; Thuy et al., 2020), que muestran mucha inestabilidad y susceptibilidad a procesos térmicos. En cuanto a las tecnologías alternativas y emergentes, utilizadas en la actualidad para preservar las frutas y los componentes de sus derivados, se tiene al ultrasonido, que promete tener aceptación, pues según Bhargava et al. (2021), es una tecnología sostenible que se está desarrollando y puede mejorar la eficiencia y la velocidad de diversos procesos de procesamiento de alimentos; la eficacia de la técnica se puede mejorar utilizando termosonicación a temperatura y manosonicación a presión junto con otros métodos, como lo muestran Condn-abanto et al.(2016). Por otro lado, Bhargava et al. (2021) también indican que el ultrasonido se utiliza en la industria alimentaria, mediante exposición directa o instrumentos como generadores de ultrasonidos o baños de agua ultrasónicos, para complementar operaciones unitarias o procesos de procesamiento de alimentos.

Nabi et al. (2024), la consideran como una técnica ecológica y respetuosa con el medio ambiente con aplicaciones en varios procesos de la industria alimentaria, y como técnica es una gran alternativa a muchos tratamientos térmicos y convencionales que pueden afectar la calidad del producto, como mejorar la firmeza de las frutas (Bhargava et al., 2021). Esta tecnología no destructiva ofrece varias ventajas, como un proceso rápido, mayor eficiencia del proceso, eliminación de pasos del proceso, mejor calidad del producto y retención de las propiedades del producto (textura, valor nutricional, propiedades sensoriales) y una vida útil más larga.

Los cambios por efecto del calor, de los componentes nutricionales de las frutas, como lo manifiesta Misra et al. (2016) ha generado una necesidad de investigación y desarrollo para aprovechar al máximo las tecnologías existentes y la aparición de tecnologías alternativas innovadoras y efectivas, evidenciándose, por lo tanto, la necesidad de desarrollar estudios, para evaluar los mejores métodos y parámetros del proceso para lograr la eficiencia del secado de cada material frutícola.

Este artículo de revisión tuvo como objetivo analizar la aplicación del ultrasonido en el proceso de deshidratado y conservación de las frutas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión sistemática de literatura fue estructurada según pautas del modelo "*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*" (PRISMA) Condón et al. (2016), dado que la adherencia a los principios PRISMA contribuye a fortalecer la precisión, la transparencia y la integridad en la elaboración de revisiones sistemáticas (Campbell et al., 2020). Para la identificación de los estudios relevantes, se realizó una búsqueda bibliográfica avanzada en bases de datos PubMed, Science Direct y Scopus, para una revisión exhaustiva, se combinaron palabras clave y términos relacionados con ultrasonido, procesamiento de alimentos y frutas. Se utilizaron operadores boleanos AND, OR y se realizaron combinaciones "ultrasonido" OR "tecnología ultrasónica" AND "procesamiento de alimentos" OR "procesamiento de frutas" OR "conservación de alimentos" AND "pulpa de frutas" OR "frutas tropicales". El idioma de los artículos seleccionados fue el inglés.

La selección de los estudios se limitó a publicaciones comprendidas entre 2014 y 2024, los cuales incluyeron artículos originales, revisiones y metaanálisis en revistas arbitradas por pares. Para determinar la relevancia de los estudios

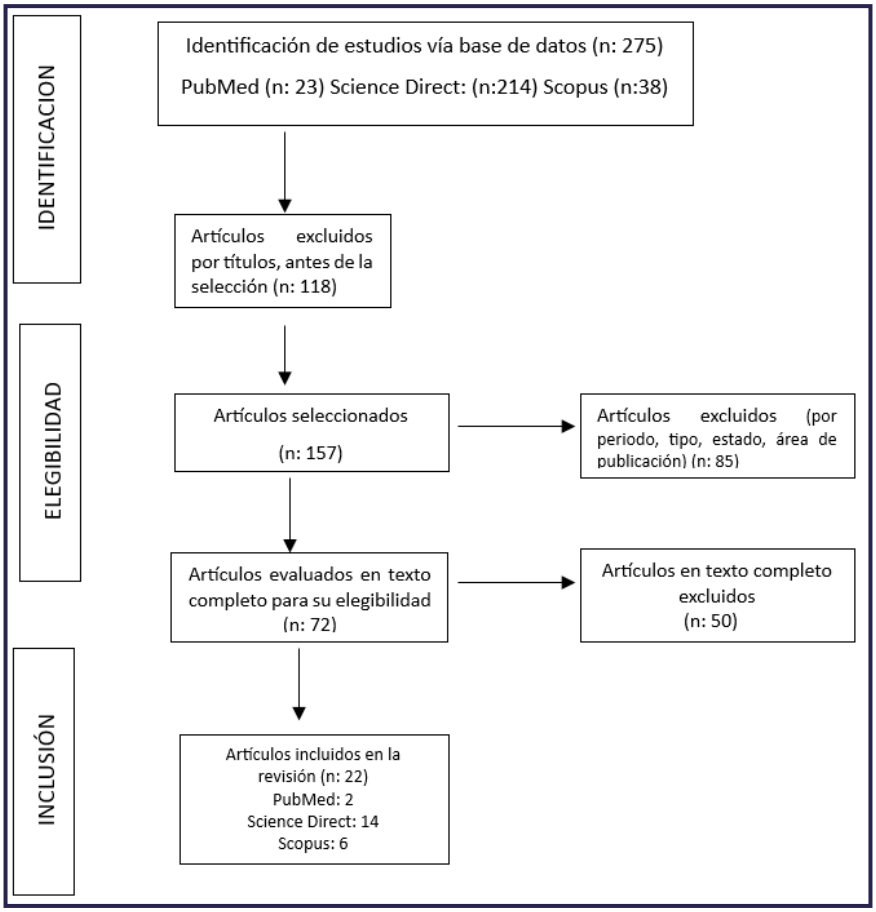
se incluyeron aquellos que evaluaron el uso del ultrasonido en el procesamiento o conservación de pulpas de frutas y que reportaron parámetros como calidad, vida útil o eficiencia del procesamiento; por otra parte, se excluyeron revisiones, editoriales, resúmenes de conferencias, artículos duplicados o sin acceso completo (Alfandari & Taylor, 2022); así como, estudios no relacionados con procesamiento o conservación y aplicaciones de ultrasonido en otros sectores no relevantes, con metodologías poco claras o no reproducibles.

El proceso de selección incluyó tres etapas, primero, se eliminaron los duplicados mediante el gestor bibliográfico Mendeley, luego se revisaron títulos y resúmenes para evaluar su pertinencia (van Wee & Banister, 2023) y finalmente, se analizó el texto completo de los estudios preseleccionados, descartando aquellos que no cumplieron con los criterios de inclusión y registrando las razones de exclusión. De acuerdo con Lang (2020) los datos se recopilaron mediante un protocolo estándar que incluyó información general, características del estudio y resultados principales.

Este proceso se resume mediante un diagrama de flujo (Fig. 1) en el cual se ofrece una representación visual clara y concisa de las etapas de identificación, cribado, evaluación de elegibilidad y, finalmente, inclusión de los estudios en esta Revisión Sistemática de Literatura (RSL); como resultado del proceso de filtrado, se seleccionaron 22 artículos para su análisis detallado que se muestran en la Tabla 1.

FIGURA 1

Diagrama de flujo de la metodología utilizada



RESULTADOS

Se presentan los principales hallazgos obtenidos a partir del análisis detallado de los artículos seleccionados, destacando los aspectos más relevantes y significativos del estudio.

Liu et al. (2019) analizaron el uso de ultrasonido en la descongelación de pulpa de mango, mostrando una notable reducción en el tiempo de descongelación (16-64 %) en comparación con métodos convencionales. A 25 °C, se alcanzaron mejores resultados, con una reducción del tiempo del 51-73 %. Además, la técnica preservó un mayor contenido de compuestos fenólicos (26,5-58,5 %) y carotenoides totales (8,7-11 %). Sin embargo, el uso de altas intensidades ultrasónicas (0,074-0,123 W/mL) afectó la textura y el aroma debido a cambios en la viscosidad y compuestos volátiles. La evaluación sensorial mostró que el tratamiento a 25 °C optimizó, tanto la calidad nutricional como sensorial de la pulpa. En general, el ultrasonido demostró ser una alternativa viable y más eficiente que la descongelación tradicional en agua. Este método destaca como una herramienta para mejorar la calidad y la eficiencia en el procesamiento de frutas congeladas.

Ahmad & Zaidi, (2023) evaluaron el efecto de la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido (UAOD) como pretratamiento en piña antes del secado al vacío. Usando sacarosa como agente osmótico a 30 °Brix y un tiempo de pretratamiento de 20 min. Además, mejoró la rehidratación, preservó el color y mantuvo propiedades texturales óptimas. Sin embargo, un pretratamiento más largo redujo la capacidad de rehidratación. Las imágenes de microscopía electrónica mostraron alteraciones en la microestructura que facilitaron la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. Este enfoque permitió obtener un producto seco de alta calidad con menor tiempo de procesamiento, destacándose como una estrategia eficiente para conservar la calidad nutricional y estructural de la piña.

Abrahão et al. (2023) analizaron diversos pretratamientos en rodajas de plátano antes del secado a 70 °C, como inmersión en agua con ultrasonido, deshidratación osmótica (OD) y deshidratación osmótica asistida por ultrasonido (UAOD). Los tratamientos con ultrasonido (20-30 min) redujeron el tiempo de secado hasta un 29 %, mejorando parámetros de color y reduciendo la contracción isotrópica. Aunque la OD por sí sola no disminuyó significativamente los tiempos, permitió impregnar carbohidratos de bajo índice glucémico en las muestras, obteniendo un producto con atractivas propiedades nutricionales. Además, los modelos matemáticos utilizados mostraron un ajuste preciso al proceso de secado. Este enfoque combina mejoras en la calidad sensorial con beneficios funcionales, consolidándose como una solución eficiente en el procesamiento de frutas.

El estudio de Chu et al. (2021) exploró mejorar la calidad de duraznos amarillos liofilizados mediante pretratamiento con deshidratación osmótica, ultrasonido (180-300W) y un agente curante (calcio lactobionato, CaLa). Tras 48 h de liofilización al vacío, se evaluaron humedad, color, textura, microestructura y contenidos de fenoles totales (TP) y procianidinas oligoméricas (OPC). El ultrasonido a 240W destacó por reducir un 57,07 % el tamaño promedio de poros, preservar nutrientes y maximizar los contenidos de TP (5,40 mg/g) y OPC (14,42 mg/g). Además, el uso de CaLa mejoró aún más la calidad. La combinación de ultrasonido y CaLa, junto con la deshidratación osmótica previa, se considera una estrategia efectiva para optimizar los duraznos liofilizados.

Vieira et al. (2018) evaluaron la combinación de ultrasonido y vacío en la cinética de secado de papaya y algunos parámetros de calidad. El secado se realizó a 60 °C utilizando cuatro técnicas: secado asistido por ultrasonido y vacío (USVD), secado al vacío (VD), secado asistido por ultrasonido (USD) y secado control (sin ultrasonido ni vacío) (CD). Las

muestras frescas y secas se analizaron en términos de color, textura, contenido de carotenoides totales y ácido ascórbico. Se observaron que la técnica USVD redujo el tiempo de procesamiento, alcanzando el equilibrio dinámico en 270 min; mientras que, el método CD necesitó 450 min. Las muestras procesadas con USVD tuvieron la menor pérdida de ácido ascórbico (41,3 %); mientras que, las de USD mostraron la menor pérdida de carotenoides (9,7 %).

Todas las muestras secas presentaron una disminución en la luminosidad y el color amarillo, junto con un aumento en el tono rojo. En cuanto a la textura, las muestras CD mostraron mayor dureza; mientras que, las USVD presentaron los valores más bajos. El tratamiento con ultrasonido no solo aceleró el proceso de secado al vacío, sino que también minimizó la pérdida de compuestos bioactivos y mejoró el mantenimiento del color del producto.

TABLA 1

Beneficio de la aplicación del pre y tratamiento ultrasónico en el proceso de deshidratado de la fruta

Fruta	Producto	Técnica de secado	Beneficios de la aplicación del ultrasonido	Referencia
Manzana (*Malus domestica*)	Rodajas	Solo ultrasonido	Reducción del tiempo de secado y mejorar la calidad del producto (mayor contenido de compuestos fenólicos).	Kahraman et al. (2021)
Carambola (*Averroha carambola* L.)	Rodajas	Osmodeshidratación	Se obtiene una mayor pérdida de agua y una menor ganancia de sólidos al aumentar el tiempo de tratamiento.	Barman & Badwaik, (2017)
Moras (*Rubus fruticosus*)	Fruto entero	Secado por aire	Menor consumo de energía total (27 %) Mayor contenido de antocianinas y ácidos orgánicos	Tao et al. (2021)
Guayaba (*Psidium guajava)*	Rodajas circulares de 6.0 mm de espesor	Horno eléctrico	Mayores tasas de secado y menor tiempo de proceso (reducción superior al 40 %).	Santos et al. (2020)
Melón (*Cucumis melo)*	Rodajas de 5.0 × 3.0 cm y 0.5 cm de espesor	Secado convectivo	Menor tiempo de secado (reducción superior al 40 %) y menos pérdida de contenidos de fenólicos totales, carotenoides totales y ácido ascórbico.	da Cunha et al. (2020)

	Frutos enteros	Deshidratación osmótica	Aumenta aún más la velocidad de secado y reduce el tiempo de secado en un 10% al incrementar la pérdida de agua.	Jiang et al. (2021)
Fresas (*Fragaria ananassa*)	Polvo de fresa	Secado por aspersión	Los contenidos fenólicos totales (TPC), flavonoides totales (TFC), carotenoides totales (TC), la actividad de eliminación de radicales libres DPPH, las antocianinas totales, la vitamina C y el β-caroteno se encontraron en cantidades significativamente altas.	Hussain et al. (2024)
	Fresas deshidratadas	Osmodeshidratación	El incremento de temperatura durante el secado de la fresa aumenta la velocidad y el coeficiente de secado y, en consecuencia, disminuye el tiempo de secado.	Amami et al. (2017)
Albaricoque (Prunus armeniaca)	Cubos de 1 cm^3	Secado por aire	Mejoramiento de las propiedades físicas y texturales de los albaricoques secos. Además, la densidad aparente, la capacidad de rehidratación de las muestras pretratadas aumentaron, mientras que la contracción, la actividad del agua y la carga microbiana disminuyeron. Reducción del tiempo de secado (reducción superior al 40 %).	Sakooei et al. (2020)
Manzana malaya (Syzygium malaccense)	Rodajas	Secado por aire	Reducción de aproximadamente el 27.3 % en el tiempo total de secado.	Oliveira et al. (2011)
Mango (Mangifera indica L. Sensation)	Rodajas de 60 × 40 × 13 mm	Aire caliente Infrarrojo lejano	Aumento del azúcar reductor, ácido ascórbico y fenol total de las muestras secas. mayor contenido de ácido fenólico. Mejoró la retención de nutrientes y los atributos de color y preservó mejor la microestructura.	Yao et al. (2020)
Genipa-jagua-Wito (*Genipa americana* L.)	Forma triangular, con 0,035 m de alto x 0,025 m de ancho y 0,006 de espesor (valores promedio)	Horno de secado con aire de circulación forzada	Reducción del tiempo total de secado (28.2 %). Frutos secos con menor contenido de azúcar (más saludable).	Fernandes & Rodrigues, (2012)

Piña (*Ananas Comosus* L.)	Cubos de piña	Pretratamiento osmótico	Reducción del 15.31 % en el tiempo de secado al vacío y una reducción del 9 % en el tiempo total de procesamiento.	Ahmad & Zaidi ,(2023)
Mango (Mangifera indica)	Pulpa de mango	Descongelación	Reducción del tiempo de descongelación del 16-64 % y un mayor contenido de ácidos fenólicos después de la descongelación ultrasónica.	Liu et al. (2019)
Plátano (*Musa paradisiaca* L.)	Rodajas de plátano	Osmodeshidratación	Reducción de tiempo medio de hasta 29 %; menor contracción isotrópica y mejores parámetros de color.	Abrahão et al. (2023)
Murtilla (*Ugni molinae Turcz*)	Fruta fresca de murtilla	Pretratamiento	Se obtuvo una alta actividad antioxidante (TPC, DPPH u ORAC) en el producto seco.	Pirce et al. (2021)
Goji (*Lycium chinense*)	Goji liofilizado	Pretratamiento osmótico	Mejoró la capacidad antioxidante del goji, con los valores más altos de capacidad de eliminación de DPPH y poder antioxidante reductor férrico (FRAP)	Wang et al. (2022)
Caqui (*Diospyros kaki*)	Caqui en polvo	Pretratamiento osmótico	Incrementaron las tasas de secado (32,76 %) y las difusividades efectivas (45,65 %) con el aumento de los tiempos de tratamiento.	Bozkir & Ergün, (2020)
Durazno amarillo (*Amygdalus persica*)	Durazno Liofilizado	Osmodeshidratación	El contenido de TP (5,40 mg/g) y el contenido de OPC (14,42 mg/g) siempre fueron los más altos en cada pretratamiento.	Chu et al. (2021)
Lima dulce (*Citrus limetta*)	Rodajas de lima dulce	Pretratamiento osmótico	Mejora la eficiencia de transferencia de masa y la retención del ácido ascórbico.	Kailaje et al. (2025)
Kiwi (*Actinidia deliciosa*)	Rodajas de kiwi	Pretratamiento osmótico	Reducción del calor metabólico, además impactó en la estructura e imagen química de las muestras.	Nowacka et al. (2018)
Papaya (*Carica papaya*)	Papaya deshidratada	Secado al vacío	El tratamiento ultrasónico aceleró el proceso de secado al vacío de la papaya y minimizó la pérdida de los compuestos bioactivos (carotenoides y ácido ascórbico) estudiados y el color de los productos.	Vieira da Silva et al. (2018)

Desafíos y perspectivas futuras de la aplicación de ultrasonido en la deshidratación de frutas

La tecnología de ultrasonidos ha surgido como un método prometedor para mejorar los procesos de secado de frutas y verduras, esta técnica no térmica puede acelerar la cinética de secado, reducir el tiempo del proceso, y aumentar la difusividad de la humedad y la transferencia de masa (Fan et al., 2017; Xu et al., 2021). El ultrasonido se puede aplicar, tanto como pretratamiento o simultáneamente durante el secado, mediante sistemas como baños ultrasónicos, sondas y dispositivos aerotransportados (Fernandes & Rodrigues, 2023). En comparación con los métodos de secado convencionales, el uso de ultrasonidos ayuda a preservar los compuestos nutricionales, minimizar los cambios de color y mantener una mejor microestructura de los alimentos deshidratados. A pesar de sus beneficios, el uso de ultrasonido en la deshidratación de frutas enfrenta desafíos importantes, uno de los problemas principales es el impacto en la microestructura de las frutas (Fan et al., 2017; Xu et al., 2021).

Durante el tratamiento, el ultrasonido puede generar microcanales y rupturas celulares que facilitan la transferencia de masa. Sin embargo, estos cambios estructurales también pueden comprometer la calidad nutricional y sensorial del producto final (Fernandes & Rodrigues, 2008). Además, si bien el ultrasonido puede reducir considerablemente los tiempos de secado, todavía se requiere optimización en términos de consumo energético, especialmente para aplicaciones industriales a gran escala, tal es así que, investigaciones recientes sugieren que el ultrasonido puede ser eficiente, pero es necesario un mayor control sobre los parámetros de operación para lograr una implementación económica y sostenible (Villamiel et al., 2015).

Otro desafío radica en la variabilidad de respuesta de diferentes frutas al tratamiento ultrasónico. Factores como la estructura tisular y las propiedades físicas del producto afectan la eficacia del proceso, como en el caso del kiwi, el ultrasonido mejoró la difusión del agua, pero fue necesario ajustar las condiciones de tratamiento para maximizar los beneficios (Prithani & Dash, 2020). La combinación del ultrasonido con otros pretratamientos, como la deshidratación osmótica y el vacío, ha mostrado resultados prometedores al reducir el tiempo de secado y mejorar la transferencia de masa. No obstante, estos enfoques requieren una mayor comprensión de los efectos combinados en la estructura celular y la calidad del producto final (Nowacka et al., 2021).

Las perspectivas futuras para la aplicación del ultrasonido en la deshidratación de frutas son alentadoras. Se espera que nuevas investigaciones logren optimizar parámetros como la frecuencia, la potencia y el tiempo de tratamiento, adaptándolos a cada tipo de fruta, para garantizar la eficiencia y la preservación de la calidad nutricional (Liu et al., 2020). Además, el desarrollo de sistemas híbridos que combinen el ultrasonido con tecnologías innovadoras, como el secado por bomba de calor, los campos eléctricos pulsados y la liofilización, pueden ofrecer soluciones más sostenibles y energéticamente eficientes (Sharma & Dash, 2019). Otra área clave de investigación es la preservación de los componentes bioactivos durante el proceso de deshidratación.

El ultrasonido tiene un gran potencial para retener compuestos como vitaminas, polifenoles y antioxidantes, lo que añadiría un mayor valor nutricional a los productos deshidratados (Siucińska & Konopacka, 2014). Además, es necesario explorar enfoques sostenibles que reduzcan los costos operativos y minimicen el impacto ambiental, como la integración de energía renovable en los procesos industriales (Firouz et al., 2019). Aunque el ultrasonido representa una tecnología innovadora con el potencial de revolucionar la deshidratación de frutas, aún es necesario superar

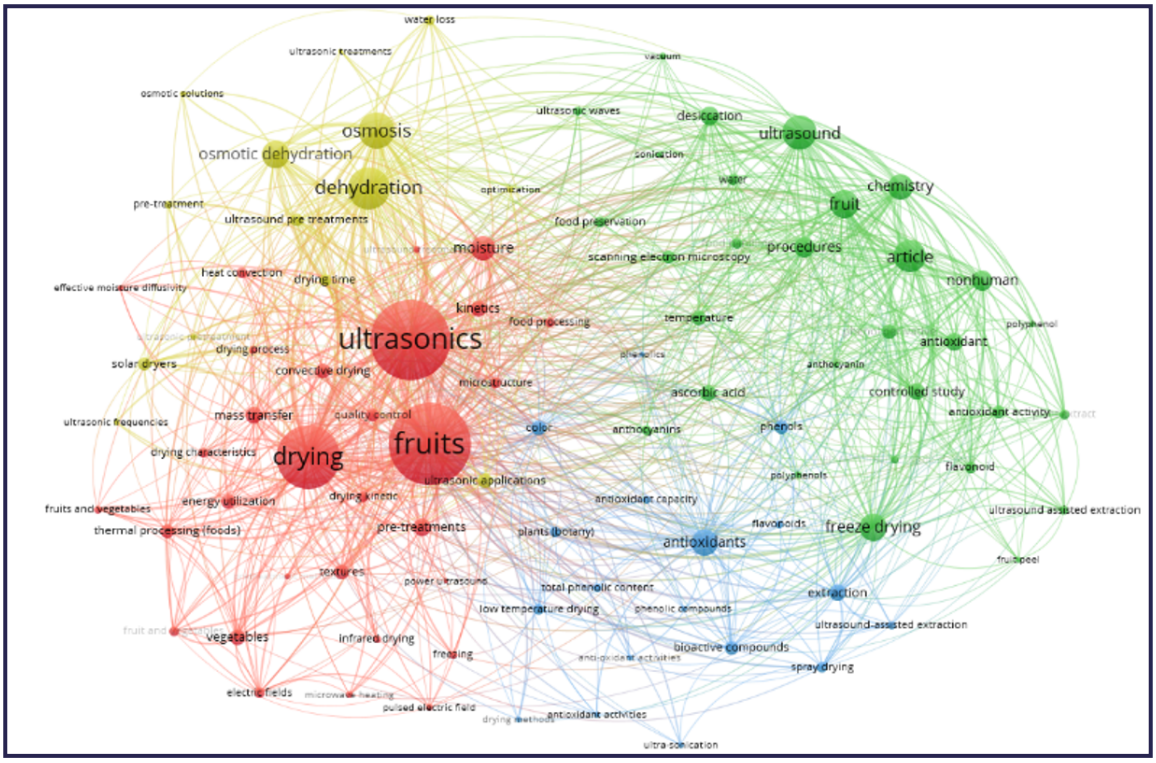
desafíos importantes relacionados con la eficiencia energética, la calidad del producto y la escalabilidad industrial (Spinei & Oroian, 2020).

Análisis bibliométrico relacionado con el uso del ultrasonido en la deshidratación de frutas

Para explorar las tendencias de investigación y los temas predominantes, se realizó un análisis bibliométrico utilizando la herramienta VOSviewer. Los datos fueron obtenidos de la base de datos Scopus, seleccionando publicaciones arbitradas comprendidas entre los años 2014 y 2024. Se emplearon palabras clave como "ultrasound technology", "fruit dehydration" y "osmotic dehydration". Posteriormente, se generaron los mapas de red que representan las relaciones entre palabras clave, colaboraciones entre autores y países, y los temas emergentes en la investigación sobre ultrasonido en alimentos.

FIGURA 2

Relaciones entre palabras clave



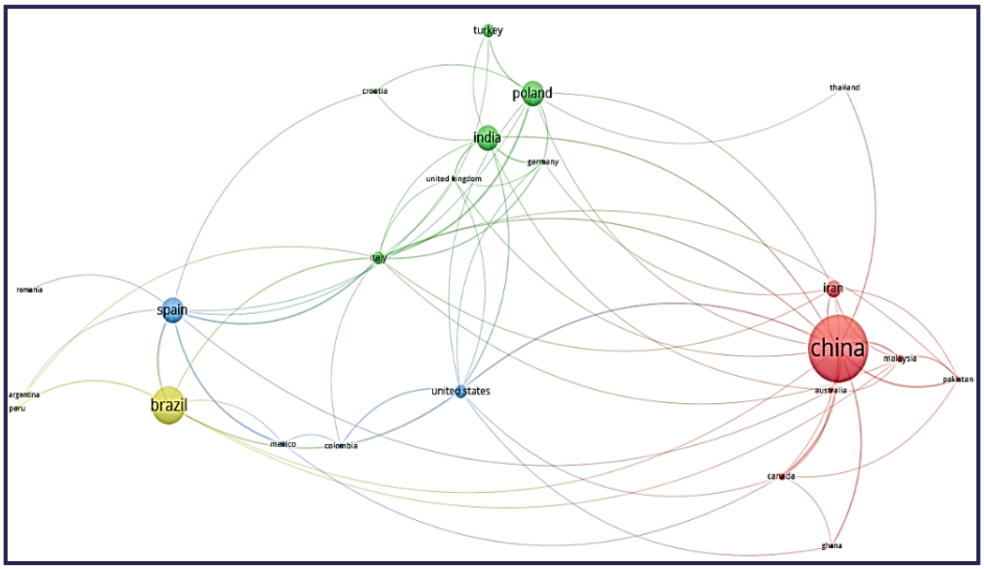
El análisis bibliométrico revela las principales tendencias en la investigación sobre la aplicación del ultrasonido en la deshidratación de frutas, los términos más frecuentes, como "*ultrasonics*", "*drying*" y "*dehydration*", reflejan el núcleo central del campo, distribuido en cuatro clusters principales. El cluster rojo abarca estudios enfocados en la optimización del secado de frutas, destacando términos como "*thermal properties*" y "*ultrasound frequency*". El cluster amarillo se centra en procesos osmóticos, con términos como "*osmotic dehydration*" y "*water loss*", que resaltan su relevancia como técnica complementaria al secado convencional. El cluster verde aborda el impacto químico y la preservación de compuestos bioactivos, destacando términos como "*antioxidant*" y "*phenolics*". Por último, el cluster azul incluye técnicas híbridas, como la extracción asistida por ultrasonido y el secado por congelación, lo que refleja avances hacia métodos

más eficientes y sostenibles.

Por otra parte, el mapa de colaboración evidencia una fuerte conexión entre investigadores de países como China, Brasil, India y España, que lideran la producción científica sobre ultrasonido y deshidratación de frutas. China lidera este campo con la mayor cantidad de publicaciones científicas y amplias colaboraciones internacionales, principalmente con Estados Unidos, Polonia e India. India, Polonia y Turquía forman un núcleo de colaboración regional; mientras que, Brasil y Chile destacan en América Latina, conectándose con España y Estados Unidos para integrarse en la red global. España actúa como puente entre América Latina y Europa, fortaleciendo el intercambio de conocimientos entre regiones; por consiguiente, la investigación en este campo refleja una red colaborativa global, que impulsa avances en tecnologías más eficientes y sostenibles.

FIGURA 3

Red de colaboraciones entre países y autores



CONCLUSIONES

El ultrasonido se presenta como una tecnología innovadora y sostenible con gran potencial en la deshidratación y conservación de frutas, el cual presenta múltiples ventajas, como la reducción significativa en los tiempos de secado, el mantenimiento de la calidad nutricional y sensorial, y la mejora en la eficiencia del proceso.

Al aplicarse como pretratamiento o en combinación con otras tecnologías emergentes, como la deshidratación osmótica y el vacío, se logra una mayor retención de compuestos bioactivos (vitaminas, carotenoides y polifenoles), preservando las propiedades funcionales de los alimentos deshidratados.

El uso del ultrasonido en la industria aún enfrenta desafíos importantes, tales como la necesidad de optimizar parámetros de operación, frecuencia y potencia, y de garantizar su escalabilidad económica y energética a nivel industrial.

La variabilidad en la respuesta de diferentes frutas requiere estudios específicos, para adaptar la tecnología a cada tipo de producto y maximizar sus beneficios.

El ultrasonido representa una herramienta clave para la industria alimentaria, facilitando la producción de frutas deshidratadas de alta calidad y valor nutricional con beneficios económicos y ambientales definidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrahão, F., Corrêa, J., Sousa, A., Silveira, P., & Nepomuceno, R. (2024). Effect of ultrasound and osmotic dehydration as pretreatments on the infrared drying of banana slices. *Food Technology and Biotechnology, 62*(3), 384-396. https://doi.org/10.17113/ftb.62.03.24.8409.

Ahmad, F., & Zaidi, S. (2023). The influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pre-treatment method on the quality of vacuum dried pineapple. *Food and Humanity, 1*, 137-146. https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.05.004.

Alfandari, R. & Taylor, B. (2022). Systematic bibliographic database searching for literature reviews: Case study on child protection decision-making. *British Journal of Social Work*, *52*(1), 518-535. https://doi.org/10.1093/bjsw/bcab013.

Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L., Bejar, A., Perez, C., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrasonics Sonochemistry*, *36*, 286-300. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.007

Anticona, M., Blesa, J., Frigola, A., & Esteve, M. (2020). High biological value compounds extraction from citrus waste with non-conventional methods. *Foods*, *9*(6), 81. https://doi.org/10.3390/foods9060811.

Barman, N., & Badwaik, L. (2017). Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry, 34,* 37-44. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.014.

Bhargava, N., Mor, R., Kumar, K., & Sharanagat, V. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *70,* 105293. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293.

Bozkir, H., & Ergün, A. (2020). Effect of sonication and osmotic dehydration applications on the hot air-drying kinetics and quality of persimmon. *LWT, 13*, 109704. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109704.

Campbell, M., McKenzie, J., Sowden, A., Katikireddi, S., Brennan, S., Ellis, S., Hartmann, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: reporting guideline. *British Medical Journal*, *368.* https://doi.org/10.1136/BMJ.L6890.

Chu, Y., Wei, S., Ding, Z., Mei, J., & Xie, J. (2021). Application of ultrasound and curing agent during osmotic dehydration to improve the quality properties of freeze-dried yellow peach (*Amygdalus persica)* slices. *Agriculture, 11*(11), 1069. https://doi.org/10.3390/agriculture11111069

Condón, S., Arroyo, C., Álvarez, I., Condón, S., & Lyng, J. (2016). Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab (*Cancer pagurus*). *International Journal of Food Microbiology*, *223,* 9-16. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.00

da Cunha, R., Brandão, S., de Medeiros, R., da Silva, E., da Silva, J., & Azoubel, P. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective

drying. *Food Chemistry*, *333*, 127502. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127502

Fan, K., Zhang, M., & Mujumdar, A. (2017). Application of airborne ultrasound in the convective drying of fruits and vegetables: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *39,* 47-57. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.04.00.

Fernandes, F., & Rodrigues, S. (2023). Ultrasound applications in drying of fruits from a sustainable development goals perspective. *Ultrasonics Sonochemistry*, *26, 1509-1516*. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106430.

Fernandes, F., & Rodrigues, S. (2012). Ultrasound as pre-treatment for drying of genipap (*Genipa americana* L.). *International Journal of Food Engineering*, *8*(3). https://doi.org/10.1515/1556-3758.2480.

Fernandes, F., & Rodrigues, S. (2008). Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits. *Drying Technology*, *26*, 1509 - 1516. https://doi.org/10.1080/07373930802412256.

Firouz, M., Farahmandi, A., & Hosseinpour, S. (2019). Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries: A review.. *Ultrasonics sonochemistry, 57*, 73-88 . https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.05.014.

Fraga, M., Otero, P., Echave, J., Garcia, P., Carpena, M., Jarboui, A., Nuñez, B., Simal, J., & Prieto, M. (2021). By-products of agri-food industry as tannin-rich sources: A review of tannins biological activities and their potential for valorization. *Foods, 10(*1), 137. https://doi.org/10.3390/foods10010137.

Hasan, M., Islam, M., Haque, A., Kabir, M., Khushe, K., & Hasan, S. (2024). Trends and challenges of fruit by-products utilization: insights into safety, sensory, and benefits of the use for the development of innovative healthy food: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, *11*(1), 10. https://doi.org/10.1186/s40643-023-00722-8.

Hussain, A., Batool, A., Yaqub, S., Iqbal, A., Kauser, S., Arif, M., Ali, S., Gorsi, F., Nisar, R., Hussain, A., Firdous, N., Fatima, H., & Ali, A. (2024). Effects of spray drying and ultrasonic assisted extraction on the phytochemicals, antioxidant and antimicrobial activities of strawberry fruit. *Food Chemistry Advances*, *5*, 100755. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100755.

Jiang, J., Zhang, M., Devahastin, S., & Yu, D. (2021). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries. *LWT, 145*, 111300. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111300.

Kahraman, O., Malvandi, A., Vargas, L., & Feng, H. (2021). Drying characteristics and quality attributes of apple slices dried by a non-thermal ultrasonic contact drying method. *Ultrasonics Sonochemistry*, *73*, 105510. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105510.

Kailaje, J., Chavan, R., & Annapure, U. (2025). Ultrasound assisted osmotic dehydration of sweet lime (*Citrus limetta*) slices: Process optimization and mass transfer kinetics. *Food Chemistry, 467*, 142350. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142350.

Lang, M. (2020). Business model innovation approaches: A systematic literature review. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae*

Mendelianae Brunensis, *68(*2), 435-449. https://doi.org/10.11118/actaun202068020435.

Lang, M. (2020). Business model innovation approaches: A systematic literature review. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 68*(2), 435-449. https://doi.org/10.11118/actaun202068020435.

Liu, Y., Chen, S., Pu, Y., Muhammad, A., Hang, M., Liu, D., & Ye, T. (2019). Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: Effect on thawing rate, sensory, and nutritional properties. *Food Chemistry, 286*, 576-583. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.059.

Liu, Y., Zeng, Y., Hu, X., & Sun, X. (2020). Effect of Ultrasonic Power on Water Removal Kinetics and Moisture Migration of Kiwifruit Slices During Contact Ultrasound Intensified Heat Pump Drying. *Food and Bioprocess Technology*, *13*, 430-441. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02401-z.

Lupín, B., Lacaze, M., Rodriguez, J., & Mujica, G. (2024). Consumo de alimentos orgánicos y su relación con los ODS. Un estudio para el Partido de General Pueyrredon. Nülan: Universidad Nacional de Mar del Plata. https://ideas.repec.org/p/nmp/nuland/4216.html.

Misra, N., Schlüter, O., & Cullen, P. (Eds.). (2016). *Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications.* Academic Press.

Nabi, B., Mukhtar, K., Ansar, S., Hassan, S., Hafeez, M., Bhat, Z., Khaneghag, A., Haq, A., & Aadil, R. (2024). Application of ultrasound technology for the effective management of waste from fruit and vegetable. *Ultrasonics Sonochemistry, 102*, 106744. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106744

Nowacka, M., Dadan, M., & Tylewicz, U. (2021). Current Applications of Ultrasound in Fruit and Vegetables Osmotic Dehydration Processes. *Applied Sciences, 11*(3), 1269. https://doi.org/10.3390/APP11031269.

Nowacka, M., Tappi, S., Tylewicz, U., Luo, W., Rocculi, P., Wesoły, M., Ciosek, P., Dalla, M., & Witrowa, D. (2018). Metabolic and sensory evaluation of ultrasound-assisted osmo-dehydrated kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *50*, 26-33. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.013

Oliveira, F., Gallão, M., Rodrigues, S., & Fernandes, F. (2011). Dehydration of Malay apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre-treatment. *Food and Bioprocess Technology*, *4*, 610-615. http://dx.doi.org/10.1007/s11947-010-0351-3

Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo, E., McDonald, S., McGuinness, L., Stewart, L., Thomas, J., Tricco, A., Welch, V., Whiting, P., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *British Medical Journal, 372*, n71. doi: 10.1136/bmj. n71.

Pirce, F., Vieira, T., Augusto, T., Alencar, S., Romero, F., & Scheuermann, E. (2021). Effects of convective drying assisted by ultrasound and osmotic solution on polyphenol, antioxidant and microstructure of murtilla (*Ugni molinae* Turcz) fruit. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(1), 138-146. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04523-1

Prithani, R., & Dash, K. (2020). Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic

dehydration of kiwi fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *64*, 102407. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102407

Rodrigues, L., Nunes, D., Hodel, K., Viana, J., Silva, E., & Soares, M. (2023). Exotic fruits patents trends: An overview based on technological prospection with a focus on Amazonian. *Heliyon*, *9*(12), e22060. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22060

Sakooei, R., Peighambardoust, S., Hesari, J., Soltanzadeh, M., & Peressini, D. (2020). Properties of dried apricots pretreated by ultrasound-assisted osmotic dehydration and application of active coatings. *Food Technology and Biotechnology*, *58*(3), 249-259. https://doi.org/10.17113/ftb.58.03.20.6471

Santos, N., Almeida, R., da Silva, G., Monteiro, S., & Andre, A. (2020). Effect of ultrasound pre-treatment on the kinetics and thermodynamic properties of guava slices drying process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *66*, 102507. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102507

Sharma, M., & Dash, K. (2019). Effect of ultrasonic vacuum pretreatment on mass transfer kinetics during osmotic dehydration of black jamun fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, *58,* 104693. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.104693

Siswandi, A., Prismawan, D., & Kambira, P. (2023). The Effects of Heating Temperatures on Passion Fruit Juice's Ascorbic Acid and Total Phenol Levels. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical Science*, *4*(1), 1-7. http://dx.doi.org/10.18196/jfaps.v4i1.18648

Siucińska, K., & Konopacka, D. (2014). Application of ultrasound to modify and improve dried fruit and vegetable tissue: A review. *Drying Technology*, *32*(11), 1360-1368. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.916719

Spinei, M., & Oroian, M. (2020). The influence of osmotic treatment assisted by ultrasound on the physico-chemical characteristics of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.). *Ultrasonics, 110*, 106298. https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106298

Tao, Y., Li, D., Chai, W., Show, P., Yang, X., Manickam, S., Xie, G., & Han, Y. (2021). Comparison between airborne ultrasound and contact ultrasound to intensify air drying of blackberry: Heat and mass transfer simulation, energy consumption and quality evaluation. *Ultrasonics Sonochemistry*, *72*, 105410. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch. 2020.105410

Thuy, N., Ha, H., & Tai, N. (2020). Kinetics of ascorbic acid loss during thermal treatment in different pH buffer solutions and the presence of oxygen. *Food Research*, *4(*5), 1513-1519. https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).130

Trigo, J., Alexandre, E., Saraiva, J., & Pintado, M. (2022). High value-added compounds from fruit and vegetable by-products–Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(8),1388-1416. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1572588

Van Wee, B. & Banister, D. (2024). Literature review papers: the search and selection process. *Journal of Decision System*, *33*(4), 559-565. https://doi.org/10.1080/12460125. 2023.2197703

Vieira, E., Lins, L., Batista, R., Pimenta, Z., & Azoubel, P. (2018). Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. *LWT*, *97*, 317-322. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.017

Villamiel, M., Gamboa, J., Soria, A., Riera, E., García, J., & Montilla, A. (2015). Impact of power ultrasound on the quality of fruits and vegetables during dehydration. *Physics Procedia*, *70*, 828-832. https://doi.org/10.1016/J.PHPRO.2015.08.169

Vodnar, D., Călinoiu, L., Mitrea, L., Precup, G., Bindea, M., Păcurar, A., Szabo, K., & Ştefănescu, B. (2019). A new generation of probiotic functional beverages using bioactive compounds from agro-industrial waste. In: *Functional and medicinal beverages* (pp. 483-528). Elsevier.

Wang, J., Liu, C., & Zheng, L. (2024). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the drying characteristics and quality properties of goji. *Journal of Food Process Engineering*, *47*(5). https://doi.org/10.1111/jfpe.14620

Xu, B., Sylvain Tiliwa, E., Yan, W., Roknul, S., Wei, B., Zhou, C., Ma, H., & Bhandari, B. (2022). Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review. *Food Research International*, *152*, 110744. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110744

Yao, L., Fan, L., & Duan, Z. (2020). Effect of different pretreatments followed by hot-air and far-infrared drying on the bioactive compounds, physicochemical property and microstructure of mango slices. *Food Chemistry*, *305*, 125477. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125477

Zeng, Y., Zhou, W., Yu, J., Zhao, L., Wang, K., Hu, Z., & Liu, X. (2023). By-products of fruit and vegetables: Antioxidant properties of extractable and non-extractable phenolic compounds. *Antioxidants*, *12*(2), 418. https://doi.org/10.3390/antiox12020418