

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i4.1729>

Aplicación de tecnologías emergentes para reducción de desperdicios de frutas en elaboración de bebidas: obtención de subproductos de alto valor agregado

Application of emerging technologies for reducing fruit waste in beverage production: obtaining high value-added by-products

Mónica Alexandra Quinatoa Osejos

monita.quinatoa1627@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-7060-6978>

Investigadora Independiente
Ecuador – Quito

Ana Gabriela Morales Mancero

anagabrielamorales1984@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6127-9147>

Investigadora Independiente
Ecuador – Quito

María Alejandra López Revelo

aleja_aml@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-3039-5261>

Investigadora Independiente
Ecuador – Quito

Diego Alexis Vinueza Brazales

diegovinu@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-5124-430X>

Investigador Independiente
Ecuador – Quito

*Artículo recibido: 18 septiembre 2025 -Aceptado para publicación: 28 octubre 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.*

RESUMEN

La industria procesadora de frutas genera grandes cantidades de residuos, como bagazo, cáscaras y semillas, los cuales representan un desafío ambiental, pero también oportunidades de aprovechamiento. Estos subproductos poseen un potencial bioactivo, resaltando su capacidad antioxidante y funcional, alto contenido de vitaminas, fenoles y minerales. Diversos subproductos como cáscaras cítricas, orujo de tomate, derivados vitivinícolas, los de maracuyá y pitahaya presentan oportunidades en diversas aplicaciones industriales. EL objetivo de la investigación es identificar tecnologías emergentes para la recuperación eficiente estos compuestos, promoviendo su aprovechamiento en sectores de la alimentación, farmacéutica y cosmética. Se aplicó una metodología basada en una revisión bibliográfica de estudios recientes, evaluando los métodos físicos, químicos y biotecnológicos, considerando la eficiencia, sostenibilidad y aplicabilidad industrial. Como resultado destacan técnicas que emplean la extracción utilizando fluidos

supercríticos (SFE), por microondas (MAE) y ultrasonidos (UAE), para un mayor rendimiento y menor consumo energético. La extracción asistida por enzimas es opción ecológica y rentable. Métodos como la biotecnología y fermentación convierten los subproductos en metabolitos valiosos, y el secado por aspersión y liofilización preservan compuestos sensibles. La nanoencapsulación y nanoemulsiones mejoran la estabilidad y biodisponibilidad, mientras que tecnologías de membrana como la filtración nanométrica y la presión osmótica inversa facilitan la purificación de extractos. Finalmente, la impresión 3D, una herramienta innovadora para incorporar estos subproductos en nuevos alimentos. La integración de estas tecnologías no solo minimiza los efectos negativos en el entorno, sino que además abre nuevas oportunidades en la cadena de valor de la industria de bebidas.

Palabras clave: tecnologías emergentes, subproducto, valor agregado

ABSTRACT

The fruit processing industry generates large amounts of waste, such as bagasse, peels, and seeds, which represent an environmental challenge, but also opportunities for utilization. These byproducts possess bioactive potential, highlighting their antioxidant and functional capacity, and high content of vitamins, phenols, and minerals. Various byproducts such as citrus peels, tomato pomace, wine derivatives, passion fruit, and pitahaya present opportunities in various industrial applications. The objective of the research is to identify emerging technologies for the efficient recovery of these compounds, promoting their utilization in the food, pharmaceutical, and cosmetics sectors. A methodology based on a bibliographic review of recent studies was applied, evaluating physical, chemical, and biotechnological methods, considering efficiency, sustainability, and industrial applicability. The results highlight techniques that employ supercritical fluid extraction (SFE), microwave extraction (MAE), and ultrasound extraction (UAE), for higher yields and lower energy consumption. Enzyme-assisted extraction is an environmentally friendly and cost-effective option. Methods such as biotechnology and fermentation convert byproducts into valuable metabolites, and spray-drying and freeze-drying preserve sensitive compounds. Nanoencapsulation and nanoemulsions improve stability and bioavailability, while membrane technologies such as nanometer filtration and reverse osmotic pressure facilitate the purification of extracts. Finally, 3D printing is an innovative tool for incorporating these byproducts into new foods. The integration of these technologies not only minimizes negative environmental impacts but also opens up new opportunities in the beverage industry's value chain.

Keywords: emerging technologies, byproduct, added value

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional *Arandu* UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

La industria de alimentos enfrenta innumerables desafíos en cuanto al manejo eficiente de los subproductos generados durante los procesos de obtención de los productos terminados. El aprovechamiento de estos subproductos y su disposición final son determinantes para establecer métodos para su tratamiento, dándole un valor adicional y de esta manera se contribuye con la conservación del ambiente en vista de que no se desechan en vertederos (Torres Alvarez, et al., 2025).

El destino de estos subproductos de la industria de alimentos es tradicionalmente a la alimentación animal, elaboración de compostajes entre otros usos, sin embargo, se enfrentan retos relacionados con costos, incumplimiento de normativas y uso de tecnologías acordes. Sumado al crecimiento de la población, es de vital importancia el aprovechamiento de estos residuos para la obtención de nuevos productos alimenticios de calidad aplicando tecnologías de vanguardia (García-Silvera et al., 2023).

En la industria procesadora de frutas son innumerables los productos que se obtienen como mermeladas, jugos, néctares, bebidas alcohólicas y productos deshidratados que generan una cantidad de subproductos aprovechables para la alimentación humana y animal. Se obtienen toneladas de cáscaras, bagazos, aguas de lavado y semillas con contenido residual de compuestos bioactivos que poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas de amplio uso en la industria alimentaria y farmacológica (Jiménez-Robles et al., 2025).

El procesamiento de frutas es primordial en la situación económica de América latina enfocándose en las especies tropicales autóctonas que proporcionan alimentos de calidad nutricional con la aplicación de técnicas emergentes seguras. Este estudio tuvo como objetivo dar a conocer como cada una de las estrategias en tendencia de procesamiento aplicadas en el aprovechamiento de los subproductos generados por esta industria, lo cual ayuda a superar los retos como garantía de su sostenibilidad económica y ambiental.

Para ello, se identifican los métodos innovadores en desarrollo, sus ventajas y limitaciones, se clasifican los subproductos con mayor potencial de valorización según su composición y aplicabilidad, y se analizan los compuestos de alto valor añadido obtenidos mediante estas tecnologías, destacando sus posibles aplicaciones en distintas industrias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el estudio se implementó un enfoque documental concebido desde una revisión y análisis crítico de literatura científica, artículos especializados y experimentales, normas técnicas e informes relacionados con el objetivo de mapear el panorama actual sobre las tecnologías emergentes para la reducción de desperdicios de frutas en la elaboración de bebidas para darle valor agregado a los subproductos.

La búsqueda de la literatura científica se llevó a cabo en un lapso comprendido del año 2015 a 2025, diez años que garantizan la inclusión de las tecnologías más recientes. Se seleccionaron las referencias proporcionadas por *Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*, *ScienceDirect*, PubMed entre otros documentos acordes con el tema para describir cada una de las tendencias de procesamiento de frutas y el aprovechamiento de los subproductos generados. Se usaron diferentes combinaciones de palabras claves y sus sinónimos como subproductos en industria de jugos, desechos de frutas, residuos agroindustriales, tecnologías emergentes, innovación tecnológica, bioprocesos, fermentación, microencapsulación, valoración, aprovechamiento, economía circular, recuperación, valor agregado para ubicar los estudios que se sometieron a revisión.

Para la selección se aplicaron criterios de inclusión como artículos de investigación originales y de revisión, patentes, capítulos de libros que describieron metodologías tecnológicas emergentes para la explotación de residuos de la industria de bebidas. Se descartaron resúmenes de conferencia sin publicación completa, tesis y disertaciones sin publicación en revistas indexadas y publicaciones en idiomas distintos al español e inglés. Se llevó a cabo una selección y evaluación de los títulos y resúmenes de los resultados de la búsqueda y los textos completos preseleccionados fueron recuperados y revisados minuciosamente para verificar la pertinencia con las tecnologías emergentes, haciendo énfasis en la descripción tecnológica, los resultados y el potencial de aplicación en la industria de bebidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición de los desperdicios de la industria procesadora de frutas

Se presenta una oportunidad para el aprovechamiento de subproductos con propiedades de interés tanto tecnológico como funcional generados por la industria procesadora de frutas en la obtención de bebidas, néctares entre otros productos. La industria cítrica genera residuos que contienen compuestos valiosos, tales como vitaminas, fenoles, minerales y fibra, recuperables y reutilizables en los procesos productivos. Especialmente el bagazo de naranja, generado durante la extracción de jugo, está compuesto principalmente por cáscara, membranas y semillas, representando aproximadamente el 50% del peso total de la fruta (Torres Alvarez et al., 2025).

En la toronja y el pomelo, las cáscaras son una fuente valiosa de agregados bioactivos como limoneno, flavononas y pectinas. Los primordiales ácidos constitutivos de estos residuos son el cítrico y málico, junto con otros en menor proporción. Las semillas de cítricos han sido poco estudiadas, pero contienen aceites y fitoesteroles con alto valor nutricional, destacando el aceite de mandarina por su elevada proporción de ácidos grasos esenciales. La composición de estos residuos varía según la madurez y la estación del año, y refuerza su potencial en la industria alimentaria (Bacca et al., 2024).

Numerosos estudios de caracterización se han llevado a cabo con el propósito de evaluar su potencial como fuente de compuestos bioactivos. López et al. (2023) presentó resultados que indicaron que el bagazo fresco presentaba una proporción destacada de humedad (77,8 %), carbohidratos (17,85 %), proteínas (1,36 %) y fibra (2,27 %). Además, exhibió un contenido significativo de sólidos solubles (15,9 °Brix), pH de 4,50, acidez total de 0,251 gramos de ácido cítrico por cada 100 gramos y una actividad de agua de 0,985. Para bioactividad, se encontró una presencia relevante de carotenoides (12,0 mg β -caroteno/100 g), polifenoles (CFT en 539,9 mg AGE/100 g), vitamina C (80,2 mg/100 g), naringenina (141,5 mg/100 g) y hesperidina (398,5 mg/100 g), lo que contribuyó a su capacidad antioxidante de 2,9 mmol de equivalentes de Trolox/100 g (BS).

El proceso de secado generó una disminución en la actividad de agua del material (0,314) y provocó pérdidas en su capacidad bioactiva. En particular, se identificó una pérdida total de la vitamina C y disminución considerable en los porcentajes de carotenoides (74%), CFT (51%) y naringenina (51%), aunque la hesperidina permaneció sin cambios. La reducción en la concentración de compuestos bioactivos se vinculó con una disminución del 53% en la actividad antioxidante. Estos hallazgos destacan el potencial bioactivo del bagazo de naranja (*Citrus sinensis* L.) proveniente de la industria de las naranjadas, aunque su procesamiento puede afectar su composición. Mediante la optimización de las condiciones de secado, se podría obtener un producto deshidratado con propiedades funcionales valiosas para su utilización en la producción de alimentos, farmacia y cosmetología (López et al. 2023).

Bacca et al. (2024) plantean el uso de los compuestos bioactivos que siguen formando parte de los subproductos de frutas y verduras, como aditivos naturales con funciones de antioxidantes, antimicrobianos, colorantes, texturizantes y antipardeamiento en la industria alimentaria. Su investigación se basa especialmente en los residuos de tomate (*Solanum lycopersicum*) donde las cáscaras son ricas en proteínas, carbohidratos, fibra y minerales antioxidantes (calcio, cobre, zinc, manganeso y selenio). Además, presentan altos niveles de licopeno, luteína y β -caroteno, siendo mayor de lo que se presenta en la pulpa. También poseen ácidos grasos insaturados, entre ellos linoleico y oleico, junto con ácidos saturados como palmítico y esteárico. Incluyen tanto aminoácidos esenciales como no esenciales, además de ácidos fenólicos.

El orujo de tomate, por su parte, presenta un alto contenido de fibra, azúcares, proteínas, pectinas, grasas y minerales. Las semillas secas extraídas del orujo son ricas en proteínas, fibra y cenizas, además de contener licopeno en menor cantidad que la cáscara. Tanto en las pieles como en las semillas, el β -caroteno se encuentra en concentraciones notorias, lo que resalta el valor de estos subproductos como posibles ingredientes funcionales para diversas aplicaciones (Bacca et al. 2024).

Otra industria que genera subproductos aprovechables es la vitivinícola, los cuales tienen múltiples usos en agricultura, cosmética, farmacia e industria alimentaria. Entre los residuos con mayor potencial en alimentación destacan el orujo de uva formado por tallos, pieles y semillas tras su prensado, que constituye una fuente rica en compuestos fenólicos de alto valor agregado. Durante la vinificación, también se generan depósitos sólidos en los tanques, compuestos por levaduras, bacterias y otros elementos, mientras que la fase líquida contiene etanol y ácidos orgánicos. Además, los racimos de uva se aprovechan por sus compuestos astringentes, y las lías de vino poseen propiedades antioxidantes y biológicas. Estos subproductos deben reutilizarse para enriquecer la producción alimentaria (Ferrer-Gallego y Silva, 2022).

Para López Benavides et al. (2022) se usa la pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis*) en la elaboración de productos como jugos, bizcochos, mermeladas y vino. En el ámbito farmacéutico, se utiliza en la fabricación de champús, aceites esenciales y el recubrimiento de pastillas. Durante el proceso de transformación se genera residuos, siendo la cáscara una fuente abundante de fibras lignocelulósicas y representa el 52 % de la fruta, la cual es descartada tras su procesamiento. Estudios han señalado que el mesocarpio posee una alta concentración de pectina, lo que ofrece una oportunidad para su aprovechamiento en la manufactura de alimentos y en la obtención de plásticos biodegradables.

A nivel global se ha generado un interés por el procesamiento de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) para la elaboración de vinos, mermeladas, jaleas, productos deshidratados y jabones. Sin embargo, las cáscaras representan un porcentaje elevado de residuos generados en estos procesos de manufactura. Es de vital importancia gestionar estos subproductos ricos en compuestos útiles en la elaboración de nuevos productos. Estudios como los desarrollados por Bonilla Lucero et al. (2024) demuestran el potencial que tienen estos residuos en la obtención de pectinas muy utilizadas y que generalmente se extraen de los cítricos. Otros estudios la perfilan como una fuente en la obtención de pigmentos naturales como las betalainas muy usadas en la agroindustria, farmacia y en la elaboración de cosméticos (Carreón-Hidalgo et al., 2022).

Obtención de componentes útiles a partir de subproductos del procesamiento de frutas

El proceso tradicional para la obtención de jugos de frutas comienza con la limpieza y lavado, molienda o despulpado de la fruta, fresca o congelada, para formar una pulpa. Esta se calienta de 40 a 50°C y, a menudo, se trata con enzimas pectinolíticas para ablandar las estructuras celulares. Este paso es crucial porque evita que gelifiquen las pectinas, facilitando la extracción del jugo y, en frutas oscuras, aumenta la concentración de polifenoles, lo que intensifica el color y a menudo se asocia con una mejor calidad para el consumidor.

Posteriormente, el jugo se separa de los sólidos restantes utilizando prensas como las de banda o cesta. La elección de la prensa depende de la capacidad y las condiciones requeridas; por ejemplo, las prensas de banda son versátiles, pero conllevan un mayor riesgo de oxidación del

jugo. Una vez extraído, el jugo se clarifica con centrifugadoras y se pasteuriza para asegurar su conservación (Salinas, 2024).

Según Kultys y Moczowska-Wyrwisz (2022), gran parte de los subproductos obtenidos en la industria procesadora de frutas pueden ser reutilizados. Un ejemplo destacado es el orujo o bagazo resultante de la producción de jugos de frutas. Los subproductos hortofrutícolas representan una oportunidad para desarrollar alimentos con alto valor nutricional. La alternativa sostenible radica en la separación de componentes bioactivos de sus matrices, lo que permite un mejor control en la producción y evita costos adicionales. Tradicionalmente, el bagazo de las frutas destinadas a jugos y néctares ha sido utilizado como alimento para animales, aunque su bajo contenido en proteínas lo convierte en una fuente nutricional limitada. No obstante, gracias a su elevado nivel de azúcares fermentables, recientemente se ha aprovechado como insumos para la obtención de biocombustibles. Su integración en esta industria contribuye a reducir el consumo de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de carbono a la atmósfera (Salinas, 2024).

Tecnologías emergentes para la reducción y valorización de desperdicios

Tecnologías de Extracción Avanzada

Extracción con Fluidos Supercríticos (SFE)

Es un método que se utiliza para separar compuestos termolábiles de una matriz mediante el uso de un disolvente en estado supercrítico. Aunque generalmente se realiza a partir de sólidos, también puede aplicarse a líquidos. Este proceso se emplea tanto en preparación de muestras para análisis como en la producción a gran escala, permitiendo la eliminación de sustancias no deseadas, como la cafeína, o la obtención de productos valiosos, como aceites esenciales. Entre estos compuestos esenciales se encuentra el limoneno y otros disolventes puros. El dióxido de carbono (CO₂) es el fluido supercrítico más comúnmente utilizado, a veces combinado con codisolventes como etanol o metanol. Para su extracción, se requieren condiciones superiores a su temperatura crítica de 31 °C y presión de 74 BAR, aunque la adición de modificadores puede provocar ligeras variaciones (Academia Lab, 2024).

Las características del fluido supercrítico pueden modificarse ajustando la presión y la temperatura, facilitando la operación de las extracciones selectivas. Los aceites volátiles pueden obtenerse de los vegetales aplicando bajas presiones (100 bar), mientras que la extracción en fase líquida también retira los lípidos. A presiones más elevadas, el CO₂ puro facilita la eliminación de lípidos, y al incorporar etanol al solvente, es posible separar los fosfolípidos. Este mismo método puede emplearse para aislar polifenoles y ácidos grasos insaturados de los residuos del vino (Academia Lab, 2024).

Extracción Asistida por Microondas (MAE)

Su naturaleza electromagnética no ionizante implica la formación de campos eléctricos y magnéticos que se orientan perpendicularmente entre sí y en relación con la propagación de la energía. Esta técnica se basa en un calentamiento rápido mediante dos mecanismos: la conducción

iónica y la rotación dipolar, dentro de un medio con buenas propiedades dieléctricas. El calor producido provoca la evaporación de la humedad en la célula vegetal, generando alta presión sobre su pared celular hasta romperla, facilitando así la extracción de lixiviados mediante el disolvente (Cervantes-Güicho et al., 2024).

Es una técnica utilizada para aislar analitos de materiales naturales mediante el calentamiento rápido del disolvente con radiación de microondas. El proceso consiste en transferir los compuestos de la matriz hasta el disolvente gracias a la radiación de microondas, que acelera el proceso mediante el calentamiento del solvente. La MAE opera a una frecuencia de 2450 MHz, lo que permite la vaporización del agua en el sustrato. Entre sus principales ventajas destacan la reducción del tiempo de extracción, el menor consumo de solvente y energía, así como un mayor rendimiento y una mejor precisión en los resultados (Balderas, 2023).

Extracción Asistida por Ultrasonidos (UAE)

Es una técnica que emplea ondas ultrasónicas para generar energía mecánica, lo que provoca la ruptura de la pared celular. Este efecto favorece una mayor penetración del solvente y facilita la liberación de los compuestos fenólicos (López, 2024). La UEA es un método muy utilizado en la separación de componentes bioactivos como los polifenoles y flavonoides en frutas como la uva. Este consiste en aplicar compresiones y expansiones de ondas longitudinales en una sustancia acuosa para formar burbujas por un periodo de tiempo muy corto gracias al proceso de cavitación (Mendez Silva, 2022).

El proceso de UAE sigue los siguientes pasos (Barragán, 2025):

- Se deposita la muestra en un recipiente adecuado.
- Se incorpora el solvente destinado a la extracción.
- Se coloca la sonda de ultrasonido en contacto directo con la muestra.
- La generación y colapso de cavidades ultrasónicas provoca altas temperaturas y presiones localizadas, optimizando la extracción.
- Se recoge la muestra ya extraída.

Para López (2024), los elementos más importantes que influyen en la UAE incluyen la frecuencia, la potencia, el ciclo de trabajo, la temperatura, el tiempo, el tipo de solvente y la proporción entre líquido y sólido. Es fundamental analizar estos parámetros para determinar su impacto en la muestra, ya sea positivo o negativo, y así llevar a cabo un proceso de optimización eficaz.

Extracción Asistida por Enzimas

Este método emplea enzimas hidrolíticas para descomponer la pared celular y otros elementos celulares, lo que optimiza la penetración del disolvente en las plantas o materiales vegetales, facilitando la extracción de sus metabolitos. Ha ganado popularidad debido a su enfoque ecológico y rentable, representando una mejora respecto a los métodos de extracción tradicionales y modernos. Su potencial radica en su eficacia para mejorar la recuperación de

diversas clases de metabolitos bioactivos, como polifenoles, carotenoides, polisacáridos, proteínas, componentes de aceites esenciales y terpenos (Lubek-Nguyen et al., 2022).

Este proceso involucra la aplicación de soluciones enzimáticas al material vegetal antes de la maceración con solventes adecuados, con el objetivo de extraer compuestos de interés. Aprovecha la alta especificidad de la actividad enzimática, ya sea para romper enlaces y formar nuevos productos, o para liberar compuestos ligados a membranas o la pared celular, facilitando su extracción. Las carbohidrasas son enzimas clave en los procesos de extracción, ya que tienen la capacidad de descomponer las macromoléculas que forman las fibras de la pared celular. Esto ayuda a la ruptura de las células vegetales y la salida los componentes fenólicos que están químicamente ligados a dichas fibras. Dado que las estructuras celulares son complejas y las matrices vegetales pueden ser muy diversas, el uso de combinaciones de enzimas que actúen en sinergia es fundamental para lograr una extracción eficaz de los compuestos deseados (Valenzuela, 2024).

El método presenta como ventaja que aumenta la eficiencia y selectividad de la extracción, aumentando el rendimiento y disminuyendo el uso de solventes tóxicos. Se suma el hecho de que las condiciones establecidas para el método no afectan las propiedades de los componentes recuperados. Se recalca que se debe considerar para el proceso, el tipo de enzima y proporción, pH, temperatura y tiempo de exposición (Bonilla, 2021).

Biología y Fermentación

Fermentación en Estado Sólido (FES)

La fermentación es una técnica mediante el cual los microbios transforman componentes nutritivos, producen metabolitos secundarios y llevan a cabo diversas funciones fisiológicas en condición aeróbica o anaeróbica. Durante este proceso, tanto los microorganismos como sus metabolitos se acumulan. Su estudio se basa en tres elementos fundamentales: el componente a obtener, el microorganismo y el medio de producción óptimo, que abarca factores como nutrientes, temperatura, humedad y oxígeno. Este método sigue siendo ampliamente utilizado debido a sus beneficios, como el ahorro energético, la reducción de costos de producción y el menor consumo de agua (López Amaya, 2023).

En cuanto a la fermentación en estado sólido (FES), esta se distingue por la ausencia significativa de agua libre en el sustrato sólido. Es un sistema compuesto por tres fases: gaseosa, película líquida y sólida. No hay una correlación directa entre la cantidad total de agua en el sustrato y el agua libre disponible. La fuerte capacidad de retención de humedad de ciertos sustratos sólidos, implica que, incluso con un contenido de agua superior al 80 %, rara vez se encuentra agua libre entre los sólidos. Por ello, el contenido de agua no puede considerarse el único criterio para definir la fermentación sólida. Es un método muy utilizado en la producción de enzimas, biopolímeros, aromatizantes (Mendoza y Rincón, 2021).

Fermentación Líquida

Proceso que implica el crecimiento y desarrollo de microorganismos en suspensión dentro de un medio de cultivo líquido, que contiene diversos nutrientes disueltos o suspendidos. Según la composición del medio y las características del microorganismo, se generan metabolitos tanto intracelulares como extracelulares, los cuales se liberan en el líquido fermentado Producción de biocombustibles, ácidos orgánicos, prebióticos (Silva y Soler, 2024)

Entre las ventajas del método de fermentación incluyen su corto tiempo de procesamiento, económico y de alto rendimiento. Permite la recolección de productos o metabolitos y su control de manera sencilla, especialmente en procesos de gran escala donde se pueden verificar parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto y producción de espuma. Se adapta a la producción de diversos metabolitos primarios y secundarios, facilitando la optimización y escalamiento del proceso. Además, se aplica en biorreactores de tanque agitado para la fabricación de enzimas y otros compuestos. No presenta dificultades en la transferencia de masa ni en la eliminación de calor, mientras que su medio líquido asegura una distribución uniforme de nutrientes, temperatura y pH, optimizando la interacción con los microorganismos. Su versatilidad permite utilizarlo en cultivos discontinuo, discontinuo alimentado, discontinuo de perfusión y continuo (Gamarra, 2024).

Tecnologías de Secado Innovadoras

Secado por Aspersión (Spray Drying)

Esta es una técnica implementada para la obtención productos pulverizados, desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial para reducir el peso de alimentos y materiales transportados. Se realiza en tres etapas: homogenización del fluido a través de un atomizador, secado mediante un gas caliente para evaporar el solvente y recolección de partículas secas con ciclones o filtros. Las propiedades del polvo obtenido dependen de diversos factores, como la temperatura de secado, el flujo de aire, la rapidez del atomizador y la concentración del carrier.

Es ampliamente aplicado en la industria alimentaria por su eficiencia, bajo costo y facilidad de escalado, en contraste con otros procesos de secado más demandantes en energía. Sin embargo, puede presentar pérdidas de producto por acumulación en las paredes del equipo y dificultades con materiales de baja solubilidad, como proteínas y polisacáridos. Por ello, su uso requiere evaluar factores como solubilidad, resistencia al calor, tipo de material de pared y viabilidad económica. Muy recomendado para encapsulación de extractos (Mora y Cabrera, 2021).

Para Tordecilla (2023) es uno de los métodos más utilizados y eficaces para la microencapsulación debido a su flexibilidad, bajo costo, rapidez y capacidad de reproducción. Permite la obtención de micropartículas de alta calidad, y bajo condiciones óptimas, cantidad de aire y las temperaturas de alimentación, entrada y salida, se logra una producción uniforme y bien

definida. En el caso de la microencapsulación de células microbianas, este procedimiento también ayuda a precondicionarlas frente a posibles factores de estrés, como variaciones de temperatura.

Liofilización (Freeze Drying)

Es un proceso de secado que, aunque requiere un tiempo prolongado y un alto consumo de energía, es ampliamente valorado en la industria alimentaria. Es ampliamente utilizado en el procesamiento de productos biológicos, farmacéuticos y alimenticios, especialmente aquellos sensibles al calor. Este proceso reduce la humedad sin exponer los alimentos a altas temperaturas, minimizando el daño a los compuestos termolábiles. Además, al disminuir significativamente la actividad del agua, garantiza la estabilidad microbiológica de los productos (Pinar, 2021). El proceso de liofilización se divide en tres etapas a saber (Guallpa, 2021):

Congelación. Se somete el producto a temperaturas entre -18 y -80 °C, lo que provoca la nucleación y el crecimiento de cristales de hielo. Este paso busca obtener una estructura sólida sin acumulaciones de líquido, facilitando la posterior sublimación. La composición final puede incluir cristales de hielo, eutécticos y zonas vítreas amorfas, influenciadas por la presencia de ciertos compuestos como azúcares y ácidos.

Secado primario. Reside en disminuir el contenido de agua mediante sublimación al reducir la presión y elevar la temperatura. En esta fase se extrae aproximadamente el 90% del agua libre y porción del agua ligada. La sublimación es más eficaz a presiones reducidas, ya que se necesita de elevada cantidad de energía para convertir el hielo en vapor.

Secado secundario. Se retira el agua residual no congelada por desorción, manteniendo baja presión y elevando la temperatura hasta alcanzar condiciones cercanas al ambiente. Se consigue una humedad final de alrededor del 2%.

Nano-tecnología y Encapsulación

Nanoencapsulación

La nanotecnología consiste en diseñar, identificar, producir y aplicar estratégicamente estructuras, utilizadas para encapsular ingredientes activos en micropartículas y nanopartículas. Este enfoque optimiza su funcionalidad, mejora la estabilidad durante el almacenamiento y aumenta la biodisponibilidad oral de los componentes alimentarios (Cerreón, 2024).

La nanoencapsulación es un proceso en el que se incorporan, absorben o dispersan compuestos bioactivos en estado sólido, líquido o gaseoso dentro de cápsulas a escala nanométrica. Estas estructuras mejoran la estabilidad y solubilidad de los compuestos, además de ofrecer mayor resistencia a la degradación. Las nanocápsulas suelen estar elaboradas con polímeros como almidones, gomas o gelatinas, lo que facilita su control y permite activarlas en el momento más adecuado para optimizar su efecto en alimentos o procesos de producción. Es ideal para proteger compuestos bioactivos, mejorar su biodisponibilidad y extender la vida útil. Existen diversas técnicas para llevar a cabo la nanoencapsulación, siendo las más utilizadas en la

industria alimentaria el secado por aspersión, la coacervación compleja y la formación de liposomas (Guzmán, 2023).

Nanoemulsiones

Las emulsiones son sistemas coloidales que permiten combinar o dispersar fases que no se mezclan de forma natural, gracias al uso de estabilizantes. Estos compuestos disminuyen la tensión superficial entre las etapas y crean una capa entre la fase continua y la fase dispersa. Se emplean en diversas industrias como la cosmética, farmacéutica, alimentaria y agrícola. En general, las emulsiones tienen un tamaño micrométrico y pueden observarse mediante microscopía óptica. Para disminuir su tamaño, se utilizan estrategias como la inversión de fases o el aumento de energía para fragmentar los glóbulos. Dependiendo del método de formación, pueden clasificarse como nanoemulsiones o microemulsiones (Silva y Oyarzún, 2021).

Las nanoemulsiones son mezclas inestables de dos fases líquidas inmiscibles, en las que la fase dispersa tiene un tamaño de 20 a 500 nm. Son emulsiones convencionales con gotas en escala nanométrica. Estos sistemas contienen fases acuosas, oleosa y tensoactivos, y pueden ser de tipo agua en aceite o aceite en agua, obtenidas mediante métodos de alta o baja energía. Se destacan por su resistencia a la cremación y sedimentación, manteniendo estabilidad prolongada y una apariencia transparente o translúcida. Su estructura les permite incorporar compuestos lipofílicos y transportar sustancias en ambas fases. Desde un enfoque biológico, brindan protección y estabilidad a sustancias activas, mejorando su penetración y eficacia. Además, favorecen la dispersión de extractos y aceites poco solubles en agua (Duarte, 2024).

Las nanoemulsiones ofrecen ventajas sobre las emulsiones convencionales. Su menor tamaño permite aumentar el área de contacto, mejorar la disponibilidad de compuestos activos, proporcionar protección contra factores ambientales y garantizar una liberación controlada. Además, su estructura flexible posibilita la formulación de nanoemulsiones dobles como agua/aceite/agua y aceite/agua/aceite, facilitando la integración de compuestos lipofílicos e hidrofílicos en un solo glóbulo. Debido a la complejidad de la doble interfase, su formulación requiere un análisis detallado de las condiciones fisicoquímicas para la estabilidad de las partículas (Silva y Oyarzún, 2021).

Tecnologías de Membrana

Se han convertido en una tecnología esencial para el tratamiento de efluentes, puesto que eliminan contaminantes, desde sales diluidas hasta materia orgánica y componentes nutritivos. Particularmente, la nanofiltración y ósmosis inversa han demostrado ser muy eficaces en la purificación del agua regenerada, posibilitando su reutilización en la agricultura. Las membranas de ósmosis inversa, destacan por su efectividad en la extracción de sólidos disueltos, alcanzando un porcentaje de filtrado cercano al 99 %. Se utilizan principalmente en la purificación de agua de mar y el tratamiento de aguas salobres. Por otro lado, las membranas de nanofiltración admiten el paso de ciertas sales monovalentes, lo que las hace ideales cuando se busca conservar ciertos

niveles de minerales en la solución tratada. Esto resulta especialmente útil en casos donde la solución no debe estar completamente desmineralizada, pero sí libre de contaminantes como nitratos, fosfatos y pesticidas cuando su concentración es elevada (Duch, 2024).

Antes de implementar un sistema de membranas en un proceso industrial, es fundamental realizar estudios preliminares sobre el tipo y material de la membrana, sus condiciones operativas y la interacción de los solutos. La combinación de distintas membranas puede mejorar el rendimiento del proceso. Los métodos de Microfiltración y Ultrafiltración pueden emplearse para eliminar compuestos orgánicos de alto peso molecular y menor valor comercial, mientras que las técnicas de Nanofiltración y Ósmosis Inversa permiten concentrar compuestos fenólicos provenientes de lías de vino, por ejemplo. En los últimos años, estos métodos han ganado gran relevancia y se han convertido en herramientas clave para aplicaciones industriales.

Para optimizar el desempeño de estos sistemas, es necesario desarrollar el modelo matemático que describen con precisión su funcionamiento y ayuden a mejorar la eficiencia y reducir costos. Este modelo debe ser lo más sencillo posible, con pocos parámetros y requerir un mínimo número de experimentos para ahorrar tiempo y dinero. Entre los modelos matemáticos utilizados en la nanofiltración, algunos consideran el mecanismo de transporte, como el modelo Nernst-Planck, mientras que el Spiegler-Kedem (SKM) predice el comportamiento del soluto y solvente sin depender de la carga del soluto ni de las propiedades de la membrana (López-Borrell et al., 2022).

Impresión 3D de Alimentos

Es un conjunto de técnicas que implementa diseños implementando sistemas computarizados para la construcción de objetos en una armazón por medio de la superposición de capas repetidas de un material conveniente. Esta tecnología está siendo cada vez más utilizada en una variedad de sectores prometedores, incluyendo la industria aeroespacial, automotriz, eléctrica y electrónica, textil, moda, arquitectura, medicina, farmacéutica, envasado, militar y alimentaria (Reche, 2024).

La selección del tipo de tecnología de impresión 3D ideal varía según la firmeza del producto alimenticio a procesar. La inyección de tinta se utiliza para fluidos, mientras que la impresión en capa de polvo es adecuada para materiales pulverizados mediante la inyección de aglutinante o la fusión del lecho. Por otro lado, la extrusión es la opción indicada para imprimir alimentos con textura semisólida (Zhu, 2022).

CONCLUSIONES

Los subproductos obtenidos en la industria procesadora de frutas, lejos de ser desperdicio, incorporan una fuente inapreciable de agregados bioactivos con potencial nutricional y funcional. Su aprovechamiento mediante tecnologías avanzadas como la separación con fluidos

supercríticos, la fermentación y la impresión 3D de alimentos permite transformar estos subproductos en ingredientes de alto valor, optimizando su estabilidad y biodisponibilidad.

Además, la aplicación de estos métodos contribuye a la sostenibilidad al disminuir el daño al ambiente e incentivar la economía circular. Esta tendencia no solo beneficia a la industria alimentaria, sino que abre nuevas oportunidades en sectores como el farmacéutico y el cosmético, posicionando la valorización de residuos como un enfoque clave en el desarrollo de productos innovadores.

REFERENCIAS

- Academia Lab. (2024). *Extracción de fluidos supercríticos*. Enciclopedia: <https://academia-lab.com/enciclopedia/extraccion-de-fluidos-supercriticos/>
- Bacca, A. J., Vásquez García, A., Rodríguez, I. y España Muñoz, J. (2024). El potencial de compuestos bioactivos de residuos de frutas y verduras en la industria alimentaria: Una revisión. *Revista de Ciencias*, 27(2), 1-34. <https://doi.org/10.25100/rc.v27i2.14046>
- Balderas, I. (2023). *Aprovechamiento de la biomasa sólida de sargazo como fuente de sustancias de valor agregado mediante procesos de extracción y digestión anaerobia*. [Tesis Doctoral, Instituto Tecnológico de Orizaba]. http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/843/Tesis_Israel%20corregido%20final.pdf?sequence=1
- Barragán, M. C. (2025). *Formulación de una crema exfoliante a partir de limoneno extraído de residuos de cáscara de naranja (Citrus Sinensis L.) Mediante el método de extracción asistida por ultrasonido*. [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0eecd553-0873-47f7-b044-29bc1741018b/content>
- Bonilla Lucero, G. M., López Sampetro, S. E., Almeida Guzmán, M. E. y Baño Ayala, D. J. (2024). Caracterización de pectina obtenida a partir de cáscaras de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Revista Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad*, 3, 1-19 . <https://doi.org/10.61236/renpys.v3i1.589>
- Bonilla, A. B. (2021). *Extracción asistida por enzimas de compuestos fenólicos a partir de cáscara de mango Mangifera indica var. Tommy Atkins*. [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22000>
- Carreón-Hidalgo, J. P., Franco-Vásquez, D. C., Gómez-Linton, D. R. y Pérez-Flores, L. J. (2022). Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. *Food Research International*, 151, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110821>
- Cerreón, F. G. (2024). *Nanoencapsulación del aceite esencial de chincho (Tagetes elliptica Sm.) en la estabilidad fisicoquímica de la carne de alpaca marinada*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6232>
- Cervantes-Güicho, V. J., Ríos-González, I. J., Reyes-Alvarado, A. G. y Morales-Martínez, T. K. (2024). Microwave-assisted extraction of flavonoids from lechuguilla guishe. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 16(2), 39-53. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2024.08.030>
- Duarte, R. D. (2024). Las Nanoemulsiones de aceites esenciales: una alternativa verde para el control de plagas agrícolas y transmisoras de enfermedades tropicales. *Cuadernos Médicos Sociales*, 64(4), 79-82. <https://doi.org/10.56116/cms.v64.n4.2024.2149>

- Duch, R. (2024). *Desarrollo de una metodología a escala laboratorio para la regeneración de aguas depuradas mediante un proceso de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración*. [Trabajo de pregrado, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/420875>
- Ferrer-Gallego, R. y Silva, P. (2022). The Wine Industry By-Products: Applications for Food Industry and Health Benefits. *Antioxidants*, 11(2025), 1-21. <https://doi.org/10.3390/antiox11102025>
- Gamarra, N. (2024). *Producción de celulasas y xilanasas de Aspergillus niger en tres sistemas de fermentación*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6555>
- Gracia-Silvera, E. E., Meléndez-Mogollón, I. C., Pérez-Areas, A. y Camero-Solorzano, Y. B. (2023). Tendencias del procesamiento de alimentos en el contexto de la COVID-19 y la globalización mundial. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 1, 178-192. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2182>
- Gualpa, A. N. (2021). *Evaluación del proceso de liofilización en fresa (Fragaria ananassa) para su aplicación en la industria alimentaria*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15528>
- Guzmán, N. M. (2023). *Nano-encapsulación: usos y aplicaciones en la industria de los alimentos*. [Monografía, Universidad Nacional abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/63698>
- Jiménez-Robles, B. D., Mendoza-Sánchez, M., Abadía-García, L., Hernández-López, M. S., Amaya Cruz, D. y Huerta-Manzanilla, E. L. (2025). Sustentabilidad e innovación: aprovechando el potencial de los residuos agroindustriales suero de leche y orujo de uva en el auge de las bebidas deportivas. *Agroindustrial Science*, 15(2), 83-193. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.02.10>
- Kultys, E. y Moczowska-Wyrwisz, M. (2022). Effect of using carrot pomace and beetroot-apple pomace on physicochemical and sensory properties of pasta. *LWT- Food Science and Technology*, 168(113858). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113858>
- López Amaya, M. (2023). *Revisión sistemática de literatura para la identificación de la actividad biológica de compuestos activos naturales obtenidos de residuos agroindustriales y su potencial uso en el desarrollo de películas de degradación oral*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/56369>
- López Benavides, Y. E., Mefleh Moreano, H. L. y Puerchambud Chasoy, S. A. (2022). Obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá, fuente para la elaboración de plástico biodegradable. *Boletín Informativo CEI*(9), 107-110. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3018>

- López, E. E., Ceruti, R. J., Vignatti, C. I. y Piagentini, A. M. (2023). Caracterización del bagazo de naranja remanente de la industria citrícola para su potencial utilización como ingrediente funcional. *Investigación Joven*, 10(2), 208-208. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/167591>
- López, M. K. (2024). *Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de los compuestos fenólicos de cedroncillo (Aloysia herreræ) y pampa muña (Hedeoma mandoniana)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6547>
- López-Borrell, A., López-Perez, M. F., Cayetano, S. y Lora-García, J. (2022). Experimental Study and Mathematical Modeling of a Nanofiltration Membrane System for the Recovery of Polyphenols from Wine Lees. *Membranes*, 12(2), 1-21. <https://doi.org/10.3390/membranes12020240>
- Lubek-Nguyen, A., Ziemichód, W. y Olech, M. (2022). Application of Enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Natural Bioactive Compounds for Nutraceutical and Pharmaceutical Applications. *Applied Sciences*, 12(3232), 1-20. <https://doi.org/10.3390/app12073232>
- Mendez Silva, P. (2022). *Aplicación de extracción asistida por ultrasonidos y microondas a la recuperación de biomoléculas*. [Tesis fin de Master, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/71650/1/TFM_PALOMA_MENDEZ_SILVA.pdf
- Mendoza, N. A. y Rincón, J. M. (2021). *Evaluación de la implementación de hongos de la podredumbre blanca en una fermentación en sólido para la generación de biomasa como producto de beneficio energético utilizando residuos lignocelulosicos*. [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8669>
- Mora, L. y Cabrera, D. (2021). *Obtención de polvos de mentol y luteolina mediante encapsulación con la técnica de secado por atomización (Spray-Drying) para la elaboración de bebidas aromáticas instantáneas*. [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes, Colombia]. <https://hdl.handle.net/1992/55437>
- Pinar, S. (2021). *Impacto de la liofilización en la bioaccesibilidad de los fenoles, carotenoides y vitamina C de productos de naranja*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/171058>
- Reche, C. (2024). *Estrategias tecnológicas de aplicación de energía acústica e impresión 3D para el aprovechamiento integral de subproductos alimentarios*. [Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears]. https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/164603/Reche_Lendinez_Cristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Salinas, A. B. (2024). *Aprovechamiento de los subproductos provenientes del jugo concentrado de manzana para ser utilizados en alimentos*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional

- de Cuyo]. https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/20280/salinas-araceli-belen-tesina.pdf
- Silva, F. A. y Oyarzún, P. A. (2021). Una visión actualizada sobre la síntesis, escalado y aplicaciones de las nanoemulsiones dobles. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(30), 30-40. <https://doi.org/10.31908/19098367.2095>
- Silva, M. y Soler, J. (2024). *Producción de ácido láctico a partir de la fermentación de biomasa celulósica del afrecho de malta mediante bacterias lácticas*. [Tesis de Pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9422>
- Tordecilla, J. D. (2023). *Desarrollo de una preformulación conteniendo biocontroladores del género Streptomyces, mediante inmovilización en micropartículas utilizando secado por aspersión (Spray Drying)*. Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena .
- Torres Alvarez, C., Gutiérrez Soto, J. G., Almaraz Juárez, M. A., Niño Medina, G., Castillo Hernández, S. y Rodríguez Salinas, P. A. (2025). Evaluación y caracterización físicoquímica, nutracéutica, microbiológica y sensorial de una bebida formulada a partir de subproductos agroindustriales. *Tecnociencia Chihuahua*, 18(4), e1678. <https://doi.org/10.54167/tch.v18i4.1678>
- Valenzuela, V. G. (2024). *Efecto de la extracción asistida por enzimas en la composición fenólica y potencial antioxidante del residuo obtenido de la producción de jugo de murtila (Ugni molinae Turcz.)*. [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/203766>
- Zhu, S. (2022). *3D Food Printing: From Structure to Perception*. [Tesis doctoral, Wageningen University]. <https://www.proquest.com/openview/077c4582ad80fbc6235f62152fcc71f4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>