



El uso de filtros en el procesamiento de bebidas:

actualidad y nuevos retos

R. Hernández-López* y N. Ramírez-Corona

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Correos electrónicos: rosa.hernandezlz@udlap.mx • nelly.ramirez@udlap.mx

RESUMEN

Las membranas y los filtros son ampliamente utilizados en el procesamiento de los alimentos líquidos. En el presente artículo, se revisarán los principales tipos de filtración: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa, así como los materiales utilizados para este fin. Dichos materiales pueden ser muy variados, dependiendo del tipo de separación que se busque, la presión de operación, el flujo a procesar, entre otros factores. Durante los últimos años se han perfeccionado procesos como la purificación de agua para consumo humano, la clarificación o la concentración de las bebidas, principalmente para jugos, y la recuperación de componentes bioactivos; en este trabajo se describirán estudios al respecto. Actualmente se siguen realizando investigaciones que permitan ampliar las aplicaciones de los procesos de filtración, buscando resolver las necesidades actuales o nuevos retos. Algunas de estas aplicaciones son la utilización de membranas para realizar análisis de microplásticos, u otros contaminantes presentes en las bebidas embotelladas, concentrar compuestos de interés en las bebidas para mejorar su aroma o sabor, su implementación para la esterilización en frío o el uso de filtros funcionalizados.

Palabras clave: membranas, filtración, filtros funcionalizados.

ABSTRACT

Membranes are widely used in the filtration of liquid foods. This article will review the main types of filtrations: microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, and reverse osmosis, as well as the different materials packed in filters and membranes. Those materials can be very varied, depending on the type of separation, operating pressure, flow rate, among other factors. In recent years, processes such as purification of water for human consumption, clarification or concentration of beverages, mainly for juices, and recovery of bioactive components, have been enhanced. This review discusses the literature reported in this regard. Research is currently being carried out for applications or procedures that meet current needs or new challenges. Some of these applications are the use of membranes to analyze microplastics or other contaminants present in bottled beverages, concentrate compounds of interest in beverages to improve their aroma or flavor, their implementation for cold sterilization, or the use of functionalized filters.

Keywords: membranes, filtration, functionalized filters.

INTRODUCCIÓN

La industria de los alimentos se enfrenta día con día a nuevos retos y oportunidades de desarrollo, siempre cuidando la calidad y seguridad de los alimentos. Cada una de las bebidas desarrolladas a lo largo de los años ha exigido el uso de tecnologías adaptadas al producto en cuestión, con la finalidad de garantizar sus características físicas, químicas y sensoriales. Por ejemplo, para la clarificación en vinos y jugos se han desarrollado filtros o membranas con características específicas, elaboradas con diferentes materiales y manipuladas en determinadas condiciones de operación, con la finalidad de separar impurezas como semillas, microorganismos, levadura, restos de tierra, sedimento o pulpa, del jugo o vino, para posteriormente pasar a la etapa de pasteurización y así garantizar la vida útil de producto (Mierczynska-Vasilev y Smith, 2015).

En el presente artículo de revisión, se discutirán las principales aplicaciones de filtros y membranas utilizadas en el tratamiento de alimentos líquidos o bebidas durante diferentes etapas de procesamiento. Estas aplicaciones incluyen la clarificación de jugos (Bhattacharjee *et al.*, 2017; Charcosset, 2021; McCabe *et al.*, 1991), extracción de compuestos de interés en jugo (Rastogi, 2018), té o café (Chemat *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2020; Medeiros *et al.*, 2006), concentración de jugos (Arend *et al.*, 2019; Dincer *et al.*, 2016; Gurak *et al.*, 2010; Van Der Sluis *et al.*, 2005), obtención de agua purificada o ultrapura (Bortolassi *et al.*, 2017), recuperación de componentes bioactivos presentes en jugos (Kumar *et al.*, 2020; Macpherson *et al.*, 1977; Waley *et al.*, 2020), recuperación de enzimas (Barbosa-Ríos *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2020; Ye y Berson, 2014), entre otros.

En la actualidad, se continúa con el desarrollo e investigación de los filtros para la industria alimentaria, particularmente en el desarrollo de nuevos materiales o la modificación de sus propiedades a través de la funcionalización. Los materiales funcionalizados —a los que se les agrega un grupo funcional distinto, que otorga propiedades físicas y químicas diferentes a las que tendría el material en su forma original— han sido utilizados para resolver problemas de bioquímica, contaminación ambiental y empaques de alimentos (Choi *et al.*, 2021; Cuthbert *et al.*, 2021; Källrot *et al.*, 2006; Khalloufi *et al.*, 2010; Peña-Gómez *et al.*, 2018).

Si bien las principales aplicaciones de este tipo de materiales en la industria alimentaria han sido para desarrollar empaques inteligentes, con función antimicrobiana y comestibles, entre otros, en años recientes se han desarrollado nuevos materiales funcionalizados para mejorar el desempeño de los filtros durante el tratamiento a las bebidas. En este artículo se tratarán también las nuevas aplicaciones de los filtros y membranas reportadas por diferentes grupos de investigadores. Algunos ejemplos de estas nuevas aplicaciones incluyen el uso de filtros para realizar análisis de microplásticos presentes en bebidas embotelladas en contenedores de plástico, o las membranas utilizadas para la esterilización en frío de bebidas, así como el desarrollo de filtros con actividad antimicrobiana, al funcionalizar los materiales que componen al filtro con aceites esenciales (Barboza *et al.*, 2018; Laorko *et al.*, 2015; Pal *et al.*, 2018).

La pandemia del SARS-CoV-2 puso de manifiesto las debilidades de materiales de filtrado que no han presentado innovaciones en las últimas décadas (Cuthbert *et al.*, 2021), refiriéndose a las telas de las mascarillas desechables y del equipo de protección personal. La situación anterior se puede extrapolar a la industria

de alimentos, donde sí se han desarrollado nuevos materiales, pero aún se puede explorar el uso de la filtración con otras aplicaciones y tecnologías.

La revisión presentada en este artículo tiene por objetivo describir los tipos de filtros y membranas que se han utilizado en la industria de bebidas para los procesos de clarificación de jugos y vinos, purificación de agua y concentración de jugo; las nuevas aplicaciones que se basan en estos procesos; la evolución de los materiales de filtrado de la industria alimentaria, así como los avances más recientes y retos que enfrentan estas tecnologías.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Filtros y membranas utilizados en los procesos de filtración

La filtración implica un importante proceso no térmico utilizado en la industria alimentaria para la clarificación, concentración y estabilización microbiana de bebidas (Gialleli *et al.*, 2016). La filtración con membranas basadas en materiales como polisulfonas, polipropileno, poliamida, nailon o acetato de celulosa se utiliza en la industria alimentaria para la eliminación total o parcial de microorganismos presentes en cerveza, vino y jugos, pero el ensuciamiento de la membrana y los métodos de limpieza son factores críticos para la aplicación extensiva de esta tecnología (Gialleli *et al.*, 2016).

Las membranas cerámicas de minerales naturales (zeolita, apatita, arcillas, caolina, dolomita, etc.) se utilizan para la clarificación de bebidas con bajo costo (Rascon-Escajeda *et al.*, 2018). La filtración de lecho a base de arena o tierra de diatomeas se

utiliza para la eliminación de materia orgánica y microorganismos del agua y alimentos líquidos, pero estos no cumplen con la eficiencia necesaria para eliminar patógenos y presentan problemas de regeneración/eliminación (Arthanareeswaran *et al.*, 2008; Devi *et al.*, 2008).

En la figura 1 se muestran los tipos de filtrado de acuerdo con la dirección del fluido. En la filtración de flujo normal o sin salida, el fluido se conduce directamente hacia la membrana bajo una presión aplicada. Las partículas que son demasiado grandes para pasar a través de los poros de la membrana se acumulan en su superficie o en la profundidad del medio de filtración, mientras que las moléculas más pequeñas pasan al lado de aguas abajo. En la filtración de flujo cruzado o tangencial, el fluido se bombea tangencialmente a lo largo de la superficie de la membrana. La diferencia de presión obliga a una parte del fluido a pasar a través de la membrana (aguas abajo), mientras que el resto sigue circulando en el sentido del flujo. Las partículas y macromoléculas que son demasiado grandes para pasar a través de los poros de la membrana se retienen en la parte de arriba. En este caso los componentes retenidos no se acumulan en la superficie de la membrana, sino que son arrastrados por el flujo tangencial (Echavarría *et al.*, 2011).

La filtración se puede clasificar generalmente según el tamaño de los poros de la membrana o del material. Las técnicas de filtración utilizadas para eliminar materia orgánica, microorganismos, así como otros contaminantes del agua y los alimentos líquidos, son microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO). La tabla I muestra esta clasificación del proceso con las principales características para cada técnica.

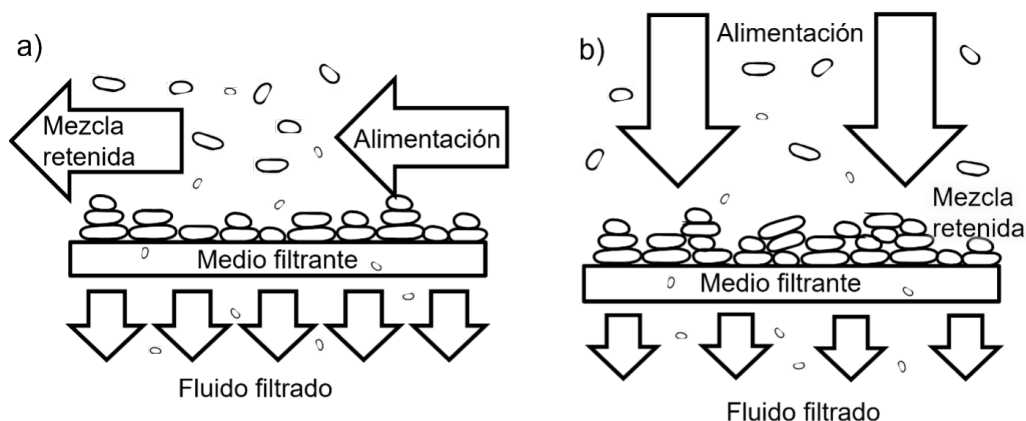


Figura 1.

Tipos de filtrado de acuerdo con la dirección del fluido: a) filtración sin salida, b) filtración de flujo cruzado. Adaptada de Zhaochu Yang *et al.*, 2009.

Tabla 1. Tipo de membrana para filtración

	MF	UF	NF	RO
Tamaño de poro, μm	0.1 - 10	0.001 - 0.1	0.0001 - 0.001	<0.0001
Componentes a retener	Partículas, arcilla, bacterias	Compuestos orgánicos, macromoléculas, proteínas, polisacáridos, coloides	HMWC, mono- di- y oligosacáridos, iones negativos polivalentes, oligosacáridos	HMWC, LMWC, cloruro de sodio, glucosa, aminoácidos, proteínas

MF - Microfiltración, UF - Ultrafiltración, NF - Nanofiltración, RO - Ósmosis inversa, HMWC - Componentes de alto peso molecular, LMWC - Componentes de bajo peso molecular.

1.1. Microfiltración

La microfiltración y la ultrafiltración implican la separación de macromoléculas en las que principalmente tiene lugar un proceso de tamizado como mecanismo de transporte. En la industria alimentaria, el objetivo principal de MF es clarificar bebidas mediante la eliminación de sólidos en suspensión, grasas y proteínas de alto peso molecular (Vu *et al.*, 2016).

Sin embargo, en los procesos de MF se pueden llegar a retener compuestos bioactivos, como polifenoles, azúcares, vitaminas y proteínas responsables de las propiedades organolépticas de las bebidas (Rascon-Escajeda *et al.*, 2018). Otro inconveniente de

estas técnicas es el ensuciamiento de la membrana o filtro, pues afecta negativamente el rendimiento, la capacidad de filtración y la vida útil (Vu *et al.*, 2016). La MF se enfoca principalmente en la eliminación de grandes sólidos en suspensión, como la suspensión biótica (cosecha de células, suspensión de levadura, suspensiones de microalgas), suspensión mineral, deshidratación de lodos y suspensión modelo (Ming *et al.*, 2021).

1.2. Ultrafiltración

La capacidad de la UF para retener proteínas se ha utilizado en la industria láctea para recuperar nutrientes y producir queso

mejorado (Ding *et al.*, 2016); extraer y concentrar proteínas bioactivas, como la caseína y las proteínas del suero de leche (Crowley *et al.*, 2014), así como para desarrollar nuevas formulaciones de leche infantil con mayor estabilidad térmica de las proteínas (Crowley *et al.*, 2015).

Según el tipo de fluido a procesar, la microfiltración y la ultrafiltración se aplican ampliamente para separar partículas finas de líquidos, mientras que la nanofiltración y la ósmosis inversa se han utilizado comúnmente para eliminar los componentes disueltos (Bhattacharjee *et al.*, 2017; Rascon-Escajeda *et al.*, 2018).

MF y UF utilizan principalmente polímeros como polisulfona (PSF), polietersulfona (PES), poliacrilonitrilo (PAN), polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (PTFE) y fluoruro de polivinilideno (PVDF) como materiales de membrana. Estos materiales exhiben una excelente permeabilidad, selectividad y estabilidad (química, mecánica y térmica) en aplicaciones de tratamiento de agua. Las membranas de PSF y PES parecen estar entre los materiales más comunes para las membranas de UF. Sin embargo, existe la necesidad de optimizar y mejorar el rendimiento de separación de estas membranas poliméricas, así como mejorar algunas otras propiedades físicas como la estabilidad, el perfil de hidrofilia y la resistencia al ensuciamiento (Castro-Muñoz, 2020).

1.3. Nanofiltración

La nanofiltración se utiliza para la separación, concentración y purificación de moléculas biofuncionales (Nath *et al.*, 2018), desalcoholización de cerveza y vino (Mangindaan *et al.*, 2018) y se ha aplicado ampliamente para la concentración y separación de la carga de proteína de suero (Kotsanopoulos y Arvanityannis, 2015).

Los filtros de celulosa de profundidad son materiales porosos capaces de eliminar contaminantes y retener moléculas no solo en la superficie sino también dentro del medio. En la industria alimentaria, la nanocelulosa se ha explorado ampliamente como un polímero alternativo en membranas y filtros, especialmente en la clarificación de bebidas, debido a sus propiedades únicas, como el alta área de superficie, alta resistencia, humectabilidad, facilidad de funcionalización química y bajo impacto ambiental (Onur *et al.*, 2018). La NC también tiene una alta relación área-volumen, lo que aumenta la capacidad de absorción del material (Salas *et al.*, 2014).

1.4. Ósmosis inversa

En la ósmosis inversa se debe aplicar una presión hidráulica mayor que la presión osmótica para que el agua pase de una concentración alta de soluto a una baja concentración de soluto (Rastogi, 2018). La ósmosis inversa se utiliza para concentrar, purificar y recuperar componentes valiosos (Bhattacharjee *et al.*, 2017). El proceso de ósmosis inversa se ha empleado especialmente para clarificar y preconcentrar zumos de frutas (Rastogi, 2018). Matta *et al.* (2004) realizaron microfiltración y ósmosis inversa para clarificación y preconcentración de jugo de acerola; la ósmosis inversa realizada a una presión transmembrana de 6 MPa permitió concentrar jugo clarificado de 7° Brix a 29.2° Brix. El jugo concentrado mejoró su contenido de vitamina C en 4.2 veces alcanzando 5229 mg/100 g.

De acuerdo con Jain y De (2019), entre los materiales utilizados para la preparación de membranas de ósmosis inversa se encuentran el acetato de celulosa (CA), triacetato de celulosa (CTA), poliamida (PA), polietersulfona (PES) y polibencimidazol (PBI). Estos materiales presentan alta retención de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, estabilidad física y química, lo que resulta en ahorros económicos y de tiempo en el proceso de concentración de jugos comparado con procesos térmicos.

1.5. Bebidas alcohólicas y bebidas no alcohólicas

En el nivel más básico, una bebida es un tipo de alimento líquido que se consume para satisfacer nuestros antojos, y que proporciona nutrición, energía e hidratación. No solo ayuda a mantenernos frescos, sino que también suministra complementos alimenticios. Su calidad varía dependiendo del tipo de bebida, cada una con características que la catalogan como calmantes de la sed, bebida social, con valor nutritivo y con propiedades medicinales. Las bebidas se dividen de manera general en dos categorías: alcohólicas y no alcohólicas (Charcosset, 2021).

Las bebidas alcohólicas son intoxicantes ya que contienen etanol, comúnmente conocido como alcohol. De acuerdo con el estándar indio, las bebidas que contienen entre 0.5 % y 42.8 % (v/v) de alcohol se clasifican como alcohólicas. En la norma internacional, las bebidas alcohólicas pueden contener entre 0.5 % y 55 % (v/v) de alcohol. Las bebidas alcohólicas se producen mediante la fermentación controlada de granos, frutas y caña de azúcar como materia prima, tratándolas con levadura

(Redan, 2020). La fermentación consiste en una serie de reacciones metabólicas, donde la levadura disocia las moléculas de glucosa a diferentes temperaturas, produciendo alcohol etílico, gas dióxido de carbono y energía (Buglass, 2010; Panda *et al.*, 2014).

Las bebidas no alcohólicas se refieren a bebidas no embriagantes o gaseosas dulces sin alcohol. En otras palabras, no se fermentan ni se destilan. El jugo de frutas es la bebida más importante de esta categoría. Existe una gran variedad de bebidas disponibles en el mercado que tienen pulpa de fruta como material base. Algunas se consumen en forma pura, mientras que otras se ingieren en forma diluida agregando agua o jarabe de azúcar. Por lo tanto, las bebidas de frutas se pueden clasificar en: (1) aquellas que deben consumirse instantáneamente después de abrirlas y (2) aquellas que pueden almacenarse durante algún tiempo después de abrirlas (Castro-Enríquez *et al.*, 2020). El jugo que se consume inmediatamente no necesita conservador. Para el jugo almacenado, se debe agregar una cierta cantidad de aditivo permitido para lograr una vida útil prolongada. En general, las bebidas de frutas se pueden diferenciar como jugo (jugo puro de fruta), néctar (contiene un 30 % de pulpa de fruta y se consume inmediatamente después de abrir), calabazas (contiene al menos un 25 % de pulpa y jarabe de azúcar y se consume diluido con agua), cordiales (calabazas con textura clara) y jarabes (con alto contenido de azúcar y jugo claro concentrado) (Barrows y Robinson, 2018; Bhat *et al.*, 2017).

2. Aplicación de filtros para bebidas

El medio filtrante es el elemento fundamental para la práctica de la filtración; entre los principales criterios de selección del material de medio filtrante se pueden destacar la compatibilidad,

resistencia química con la mezcla, permeabilidad al fluido, resistencia a las presiones de filtración, capacidad en la retención de sólidos, adaptación al equipo de filtración, equipo de mantenimiento y relación vida útil-coste (Rascon-Escajeda *et al.*, 2018); a continuación, se describen algunos de los procesos donde se aplican membranas para el tratamiento de bebidas.

2.1. Agua ultrapura, ablandamiento del agua

En el presente siglo, uno de los problemas más serios y desafiantes para el mundo es proporcionar agua pura y limpia a la población en constante aumento. Entre las diversas tecnologías de tratamiento de aguas, la de membrana domina principalmente por dos razones, la rentabilidad y la mayor eficiencia. Además, entre las diversas membranas, las poliméricas presentan ventajas económicas y prácticas en el tratamiento de aguas residuales provenientes de diferentes industrias y mercados. Las membranas poliméricas se aplican ampliamente para el ablandamiento del agua, la desalinización, el ablandamiento de aguas residuales municipales, la purificación de aguas residuales industriales y la producción de agua ultrapura (Papafotopoulou-Patrinou *et al.*, 2016). Las membranas poliméricas pueden proporcionar nuevas perspectivas en la mejora de algunas membranas novedosas e inteligentes para la remediación de varios cuerpos de agua contaminados (Khan y Shah, 2021).

Los avances recientes en la tecnología de membranas han permitido la recuperación de aguas residuales municipales para la producción de agua potable, es decir, la reutilización de agua potable (Tang *et al.*, 2018). Por lo general, las plantas de tratamiento de reutilización para uso potable utilizan membranas poliméricas para microfiltración o ultrafiltración junto con ósmosis inversa y,

en algunos casos, nanofiltración (Deluhery y Rajagopalan, 2008). Las propiedades de la membrana, incluido el tamaño de los poros, la humectabilidad, la carga superficial, la aspereza, la resistencia térmica, la estabilidad química, la permeabilidad, el grosor y la resistencia mecánica varían entre las membranas y las aplicaciones (Warsinger *et al.*, 2018). Guo *et al.* (2010) describen el funcionamiento de pruebas de integridad de las membranas, basadas en presión, porosimetría líquida, recuento de partículas, monitoreo de partículas y monitoreo de turbidez.

Como se mencionó anteriormente, se puede utilizar la tecnología de filtrado y membranas para el ablandamiento de agua. Si bien el agua dura generalmente no se considera un peligro para la salud, es perjudicial para la infraestructura del agua y las centrales eléctricas. Existe un interés creciente en los procesos de tratamiento de agua libres de químicos, por lo tanto, otras tecnologías de tratamiento como la nanofiltración se han explorado activamente como un proceso alternativo para el ablandamiento del agua (Labban *et al.*, 2018).

De acuerdo con Wang y Lin (2019), la desionización capacitiva (CDI) es una tecnología emergente capaz de eliminar selectivamente los iones del agua; la eliminación selectiva de cationes divalentes (es decir, dureza) sobre cationes monovalentes se puede lograr simplemente utilizando membrana de desionización capacitiva (MCDI) equipado con membranas de intercambio iónico (IEM); los autores evalúan el impacto de la densidad de corriente, el tiempo de retención hidráulica y la composición de la alimentación sobre la selectividad de los cationes.

El tratamiento de aguas residuales de la industria de conservas de pescado es un reto por el alto contenido de sal que persiste después de los tratamientos convencionales. Cristóvão *et al.*

(2015) desarrollaron una secuencia de tratamiento del agua de desecho que consiste en sedimentación, coagulación-floculación química, degradación biológica aeróbica (proceso de lodos activados), seguido de una etapa de pulido por ósmosis inversa (RO) y desinfección ultravioleta (UV). Esta es la membrana de ósmosis inversa con poro de 5 μm , y con una película de reforzamiento de fibra de vidrio de la marca Aqua Química.

2.2. Clarificación de vinos

En el proceso de producción de vinos, la filtración se utiliza para disminuir la turbidez y mejorar la estabilización microbiológica (El Rayess y Mietton-Peuchot, 2016; Urkiaga *et al.*, 2002). La turbidez se debe a la presencia de macromoléculas y partículas en suspensión. Esta se puede medir con un turbidímetro y se expresa en unidades de turbidez nefelométrica (NTU). Las técnicas tradicionales de filtración incluyen la filtración sobre láminas y tierra de diatomeas. La implementación de MF es una alternativa para aumentar la clarificación y la estabilidad del vino (Mierczynska-Vasilev y Smith, 2015). Su uso está cada vez más extendido en la industria vitivinícola, debido a que permite eliminar el uso de la tierra de diatomeas y, consecuentemente, las restricciones ambientales y sanitarias asociadas, además de hacer posible la combinación de clarificación, estabilización y filtración estéril en una sola operación (El Rayess y Mietton-Peuchot, 2016).

La naturaleza de la membrana utilizada tiene una gran influencia en el ensuciamiento durante la MF del vino, ya que las interacciones de los componentes del vino con la superficie de la membrana juegan un papel importante en este proceso. Por ejemplo, Ulbricht *et al.* (2009) evaluaron la clarificación por MF de un vino blanco y mostraron que las membranas de polipropi-

leno producen flujos significativamente más altos que las membranas de polietersulfona, ambas con el mismo tamaño de poro (0.2 μm). Además, se sugirió que los agregados de polifenoles y polisacáridos presentes en el vino tinto tenían una fuerte contribución al ensuciamiento por adsorción y que la interacción entre los polifenoles y la superficie de la membrana era el fenómeno principal (Conidi *et al.*, 2020).

El estudio realizado por Rosária *et al.* (2022) evalúa el impacto que tiene el tipo de filtración durante la clarificación de vino tinto, comparando dos procesos de filtración sobre el nivel de turbidez, composición fenólica, características cromáticas y perfil sensorial del vino tinto. Los procesos evaluados son la microfiltración de flujo cruzado y la filtración de placas de membrana. Los resultados indicaron que cada proceso de filtración produce una reducción sustancial de los valores de turbidez y, por tanto, un aumento de la clarificación del vino; con ambas técnicas de filtración se redujo el contenido fenólico de los vinos tintos estudiados. Sin embargo, no se encontró una tendencia clara de diferenciación entre los vinos en función del tipo de filtración, concluyendo

que el impacto de las dos técnicas de filtración que se estudiaron es muy dependiente de la composición inicial del vino.

2.3. Concentración y purificación de jugos

Los procesos de filtración con membrana son eficientes en comparación con los evaporadores de efecto múltiple porque aumentan la concentración de soluto del producto, mediante la eliminación del agua sin cambio de fase (Zi Yang *et al.*, 2019). La filtración con membrana elimina el equipo de transferencia de calor que consume mucha energía, así como sus problemas asociados. Estos procesos implican una temperatura de procesamiento más baja (normalmente temperatura ambiente), lo cual minimiza la degradación térmica de los productos. Estos procesos relativamente suaves funcionan con flujo laminar y minimizan los cambios en las características del líquido, como el pH o la fuerza iónica (Cheryan, 1986). Otros ejemplos de clarificación y concentración en jugos se observan en la tabla II, la cual describe algunos de los resultados más relevantes según el tipo de jugo a filtrar y el tamaño de poro.

Tabla II. Jugos de fruta filtrados con membranas en diferentes procesos

Bebida	Proceso utilizado	Resultados	Referencia
Jugo de fresa	MF + NF	MF con filtro de poliamida. NF con filtro de PVDF. Incremento en la concentración de compuestos fenólicos totales y de antocianinas en 1.3 y 1.5 veces, se incrementó al doble el contenido de TAA.	Arend <i>et al.</i> , 2017
Jugo de maracuyá	MF	Se comparó una membrana tubular de cerámica y una de fibra hueca de poliimida a diferentes presiones y velocidades de centrifugación. Los mejores resultados de las pruebas sensoriales se obtienen con la membrana tubular de cerámica.	De Oliveira <i>et al.</i> , 2012
Jugo de uva	RO	El jugo de uva se concentró de 13.7 a 28.5 °Bx. Otros parámetros cualitativos como antocianinas totales, compuestos fenólicos y TAA aumentaron en un 106 %, 69 %, 104 % y 155 %, respectivamente, en comparación con el jugo original.	Gurak <i>et al.</i> , 2010

Tabla II. Jugos de fruta filtrados con membranas en diferentes procesos (continuación)

Bebida	Proceso utilizado	Resultados	Referencia
Jugo de papaya	UF	Se probaron dos membranas, de PES y PS. El mejor rendimiento lo obtuvo M2 a 1 bar de presión. La retención de licopeno fue superior al 99 %, los sólidos totales se redujeron en más del 16 %. Los resultados indicaron que el licopeno, valioso antioxidante, sería un subproducto.	Paes <i>et al.</i> , 2015
Jugo de melón	MF	Cambio insignificante en pH, densidad, acidez y ácido ascórbico en comparación con el jugo original. Los TSS, la viscosidad y el contenido de licopeno se redujeron en un 9.5 %, 11.5 % y 67 %, respectivamente. La claridad de la muestra se incrementó drásticamente del 1.6 % a más del 98 %. El jugo filtrado se almacenó durante 20 días sin ninguna degradación.	Chhaya <i>et al.</i> , 2008

MF - Microfiltración, UF - Ultrafiltración, NF - Nanofiltración, RO - Ósmosis inversa.

Cassano *et al.* (2015) compararon la concentración de jugo de naranja por evaporación y otros procesos basados en membranas. El jugo concentrado por evaporación se caracterizó por una disminución de actividad antioxidante total (*total antioxidant activity*, TAA) en comparación con el jugo fresco. En UF, tanto el permeado como el retenido mantuvieron su TAA, mientras que el jugo procesado por RO presentó una pequeña disminución en TAA. Se reportó también que procesar el jugo mediante destilación osmótica (*osmotic distillation*, OD) después de RO, como un paso de concentración, no condujo a ninguna pérdida significativa en TAA del jugo (Cassano *et al.*, 2007).

Dincer *et al.* (2016) seleccionaron jugo de morera negra para evaluar el efecto del proceso de evaporación térmica (*thermal evaporation*, TE) convencional y la destilación osmótica para la concentración y el almacenamiento del jugo. Dichos autores examinaron los parámetros de calidad como pH, turbidez, acidez titulable, color, TAA, fitonutrientes, componentes

bioactivos y contenido volátil del jugo tratado. Los resultados revelaron que la muestra procesada por OD posee un mayor contenido de antocianinas y compuestos volátiles en comparación con los concentrados por TE. El contenido de antocianinas se redujo en un 6.5 % después de la OD, mientras que esta reducción fue de más del 16 % después de la TE. No se observó una diferencia significativa para la turbidez, el pH y la acidez titulable después de ambos procesos. También se encontró que los parámetros de calidad del concentrado producido por OD fueron favorables durante el almacenamiento a baja temperatura. Sus resultados sugieren que el uso OD es recomendable para preservar los compuestos sensibles al calor del concentrado de jugo de morera negra que conducen a un producto de alta calidad.

En el procesamiento de la melaza de caña de azúcar se realiza la purificación del jugo, en esta etapa se recuperan azúcares, teniendo en cuenta que los pigmentos, las sales inorgánicas, la sacarosa y el azúcar reductor son los componentes principales

de la melaza de caña. En los tratamientos convencionales se requieren tres operaciones que incluyen decoloración, desalinización y fraccionamiento de azúcar para recuperar los azúcares. En el estudio de Luo *et al.*, (2018) se utilizó nanofiltración (NF) para la separación de sacarosa y azúcar reductor en melaza de caña, mediante un proceso de diafiltración-concentración en cascada, encontrando que el contenido de azúcar reductor en melaza disminuye de 23 % a 2 %.

2.4. Recuperación de componentes bioactivos presentes en jugos

Los alimentos caracterizados por su potencial protector y promotor de la salud, además de su valor nutritivo, se reconocen como alimentos funcionales. Sus componentes benéficos han sido denominados con diversos términos, como fitoquímicos, componentes funcionales y componentes bioactivos. Estos componentes pueden ejercer sus efectos actuando como antioxidantes, activando enzimas de desintoxicación del hígado, bloqueando la actividad de toxinas bacterianas o virales, inhibiendo la absorción de colesterol, disminuyendo la agregación plaquetaria o destruyendo bacterias gastrointestinales dañinas (Amorim *et al.*, 2016).

Cassano *et al.* (2007) estudiaron la influencia de la ultrafiltración (UF) en la concentración de compuestos bioactivos del jugo de kiwi, con el fin de desarrollar un producto natural que pueda usarse para fortificar alimentos y bebidas. Al mismo tiempo, se investigó el efecto de la presión transmembrana (TMP) y la temperatura en el flujo de permeado para identificar las condiciones operativas óptimas para el procesamiento del jugo. Se obtuvo un valor TMP óptimo entre 0.6 y 0.65 bar en diferentes condiciones de velocidades de flujo cruzado, y encontraron que los flujos de permeado en estado estacionario aumentaron linealmente con la temperatura en el rango de 20 a 30 °C.

El jugo de kiwi se clarificó en condiciones óptimas de operación, según el modo de concentración del lote, hasta un factor

de reducción de volumen final (VRF) de 2.76. Los análisis de la reducción del flujo, según los modelos de ensuciamiento reportados en la literatura, revelaron que la causa principal del ensuciamiento de la membrana es la formación de una capa de torta que cubre toda su superficie. La mayoría de los compuestos bioactivos del jugo de kiwi despectinizado se recuperaron en la fracción clarificada del proceso de UF. El rechazo de la membrana para UF hacia los fenoles totales fue del 13 % (Cassano *et al.*, 2007).

Arend *et al.* (2017) evaluaron el desempeño de una membrana de PVDF ND de 150-300 Da en la concentración de compuestos bioactivos de jugo de fresa natural y microfiltrado. Se midieron flujos de permeado más altos (4.0 L/m²h) para el jugo sin filtrar en comparación con el jugo clarificado (3.0 L/m²h); sin embargo, se observó una reducción menos pronunciada del flujo de permeado para el jugo microfiltrado debido a la ausencia de sólidos en suspensión. La actividad antioxidante de las muestras concentradas a VRF de 2.0 presentó un incremento de 99 % y 51 % para el jugo sin tratar y clarificado, respectivamente.

2.5. Clarificación de jugos

Hasta la fecha, la principal aplicación de la tecnología de membranas a la industria de los jugos de frutas ha sido la clarificación. Hay varios tipos de equipos disponibles para llevar a cabo los procesos asociados. UF y MF permiten la combinación de pasos de clarificación y filtración para clarificar jugos de frutas como manzana, pera, arándano, uva y cítricos (Conidi *et al.*, 2020).

La clarificación es un proceso mediante el cual la emulsión semiestable de carbohidratos vegetales coloidales que soportan el material de nube insoluble de un jugo recién exprimido se «rompe», de tal manera que la viscosidad disminuye y la opacidad del jugo turbio cambia a una apariencia manchada abierta (Sinha, 2012).

Esto se puede lograr de dos formas generales: enzimáticamente y no enzimáticamente. El tratamiento térmico del jugo se

puede minimizar y el jugo se puede esterilizar en frío mediante un procesamiento con membranas y envasado asépticos. La filtración por membrana también puede ser continua y automatizada, lo que reduce costos de capital y mano de obra (reducción de tanques) y minimiza los tiempos de puesta en marcha (Mierczynska-Vasilev y Smith, 2015).

Las ventajas de UF y MF para procesos de clarificación sobre el procesamiento tradicional incluyen la producción de un jugo claro y la retención de enzimas por la membrana, dependiendo del tamaño del poro. Las enzimas de despectinización se pueden retener, así como la polifenoloxidasa (PPO), que provoca el pardeamiento enzimático (Urkiaga *et al.*, 2002).

En el estudio de Udayakumar *et al.* (2020) se presenta la eficiencia de diferentes filtros de membrana utilizados en la clarificación del jugo de uva. Se compararon varias membranas como Whatman 41, Whatman 1, membrana de nailon, membrana de difluoruro de polivinilideno (PVDF) contra una membrana de nanofibras electrohilada. El uso de estas membranas mostró una gran diferencia en el valor físico, químico, biológico y nutricional del jugo de uva. Los autores concluyen que la membrana de nanofibra electrohilada operada al vacío fue más eficiente en comparación con los filtros de membrana microporosa de PVDF y nailon, pues el jugo retuvo sus propiedades visibles y bioactivas y también conduce a una reducción en la formación de sedimentos en las muestras.

3. Tecnologías de filtrado emergentes y nuevas aplicaciones

A lo largo de los años la filtración por membrana o filtro se ha abierto camino en el tratamiento de bebidas; a continuación, se presentan algunas de las nuevas tecnologías y aplicaciones de procesos de filtración que tienen la finalidad de controlar parámetros como el aroma o el sabor; analizar compuestos presentes como parte del control de riesgos y calidad, como el contenido de microplásticos; y ofrecer alternativas a tratamientos térmicos con

la esterilización en frío de bebidas para la eliminación de agentes patógenos (Blackburn y Green, 2021; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2016; Lamdande *et al.*, 2020; Madaeni y Pourghorbani, 2013; Salgado *et al.*, 2017). Los materiales funcionalizados se han desarrollado en los últimos años, y las aplicaciones en la industria alimentaria se centran principalmente en empaques, aquí se describen algunos estudios que utilizan materiales funcionalizados en filtros y membranas para el tratamiento de bebidas (Peña-Gómez *et al.*, 2019; Ruiz-Rico y Barat, 2021; Saeed *et al.*, 2019).

3.1. Mejora del aroma y sabor

Los sabores y las fragancias son simplemente una amplia gama de compuestos químicos, incluidas varias moléculas como n-alcanos y alquenos de cadena corta, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, lactonas y tioles, entre otros ácidos orgánicos. En especial, existe un interés particular hacia los terpenos, que son reconocidos como la categoría más abundante de sustancias químicas en la naturaleza, siendo responsables de los olores primarios en las plantas (flores) y varias frutas (Castro-Muñoz, 2019).

La extracción convencional de fuentes naturales para producir aromas implica técnicas de separación químicas o físicas, como la destilación, la extracción mediante fluidos supercríticos, la adsorción, procesos asistidos por microondas, la extracción por solventes y los procesos de filtración con membrana (Castro-Enríquez *et al.*, 2020). Independientemente de la factibilidad de uso de todas estas técnicas, hay un aspecto importante a considerar: su eficiencia. Debido a que la mayoría de los aromas presenta reactividad (formación de radicales o compuestos oxidativos) y baja estabilidad (degradación térmica e hidrólisis) cuando se utilizan fases acuosas o solventes, los rendimientos y eficiencias de recuperación son limitados (Castro-Muñoz, 2019).

A lo largo de los años, se ha planteado el uso de la pervaporación como técnica alternativa para la recuperación de los compuestos aromáticos de las corrientes acuosas de alimentos. El enfoque actual de la investigación sobre esta técnica en la recupe-

ración del aroma está en la optimización de las condiciones de operación y en la síntesis de nuevos materiales, con el objetivo de mejorar su selectividad sobre componentes específicos durante el proceso (Saffarionpour y Ottens, 2018).

En el estudio de Sakamoto *et al.* (2003), se evalúa la recuperación diferencial de hidrocarburos terpénicos no polares y compuestos oxigenados acuosos de condensados producidos como subproducto durante la concentración de jugos de cítricos, utilizando membranas de zirconio. Los hidrocarburos terpénicos no polares se retuvieron mientras que los compuestos de sabor oxigenados más polares pasaban a través de la membrana, los porcentajes de alcoholes, ésteres y aldehídos en el permeado aumentaron notablemente en comparación con sus porcentajes antes de la filtración.

Salgado *et al.* (2017) estudiaron el rendimiento de una combinación de pervaporación (PV) y nanofiltración (NF) a escala de planta piloto para la elaboración de un vino blanco de bajo contenido alcohólico sin pérdidas de sabor. Utilizan un proceso NF de dos etapas para la reducción de azúcar del mosto, seguido de PV para la recuperación de los precursores del aroma del mosto de uva. El perfil aromático reveló que la mezcla de mostos del proceso PV más NF tuvo un contenido de aromas similar al mosto original.

En el artículo de Dawiec-Liśniewska *et al.* (2018) se evalúa la efectividad de la separación de hidrolatos de jugo de frutas (ciruela, manzana, grosella negra y cereza) a escala de laboratorio (sistema de pervaporación de flujo de gas inerte) y semitécnica (sistema de pervaporación de vacío). Para crear matrices precisas de hidrolatos antes y después de la pervaporación para cada uno de los sistemas separados, se aplicó la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) y la cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS). El análisis sensorial confirmó la mejora de la nota aromática de los permeados concentrados en comparación con las soluciones de hidrolatos de la alimentación. Los resultados indicaron que la pervaporación se puede aplicar en la condensación de agua aromática o hidrolato de jugo de frutas, lo que puede mejorar significativamente la calidad del producto y prolongar la vida útil.

3.2. Análisis de micro plásticos en botellas

Actualmente, no existe una definición generalmente aceptada para microplásticos o partículas microplásticas (MP). Sin embargo, según la ISO/TR 21960, se definen como microplásticos aquellos

en el rango de 1 a 1000 μm . Los métodos analíticos existentes se centran en la determinación del número de partículas, lo que requiere herramientas de muestreo elaboradas, infraestructura de laboratorio y, en general, métodos de detección de imágenes que consumen mucho tiempo (Braun *et al.*, 2021). Estos compuestos se han observado en varias matrices ambientales (Alimi *et al.*, 2018; Bergmann *et al.*, 2019; Horton *et al.*, 2017), incluidas aguas subterráneas o potables (Mintenig *et al.*, 2019), en biota y alimentos (Fadare *et al.*, 2020; Shruti *et al.*, 2020), productos del mar (Dehaut *et al.*, 2016), agua o bebidas embotelladas (Welle y Franz, 2018). El análisis de MP en agua embotellada de plástico y otras bebidas es un tema de creciente preocupación para el análisis de alimentos (Völker *et al.*, 2020).

Hasta la fecha, hay una investigación limitada sobre los efectos de los microplásticos directamente en la salud humana. Los resultados de estudios correlativos en personas expuestas a altas concentraciones de microplásticos, experimentos con animales modelo y cultivos celulares (Blackburn y Green, 2021) sugieren que en todos los sistemas biológicos, la exposición a microplásticos puede causar toxicidad de partículas, con estrés oxidativo, lesiones inflamatorias y aumento de la absorción o translocación; la incapacidad del sistema inmune para eliminar las partículas sintéticas puede provocar una inflamación crónica y un mayor riesgo de neoplasia; además, los microplásticos pueden liberar sus componentes, contaminantes adsorbidos y organismos patógenos (Blackburn y Green, 2021; Prata *et al.*, 2020).

Oßmann *et al.* (2018) analizaron muestras de agua mineral embotellada para determinar las concentraciones de partículas de microplásticos, utilizando filtros de membrana de 0.4 μm y espectroscopia micro-Raman. El recuento promedio de microplásticos en agua mineral fue de 2,649 partículas/L en botellas de PET de un solo uso, 4,889 partículas/L en botellas de PET reutilizable y entre 3,074 y 6,292 partículas/L en botellas de vidrio. Mientras que en las botellas de plástico el tipo de polímero predominante era el PET, en las botellas de vidrio se encontraron varios polímeros como el PE o el copolímero de estireno-butadieno.

Todavía no es posible realizar un análisis rutinario completo de MP en los productos alimenticios. En el trabajo de Braun *et al.* (2021) se presentó el desarrollo de un crisol filtrante inteligente como herramienta de muestreo y detección. Después de la filtración y el secado de los sólidos filtrados, se puede realizar una determinación directa del contenido de masa de MP de la mues-

tra en el crisol mediante espectroscopía de masas por cromatografía de gases con desorción por extracción térmica (TED-GC/MS). El nuevo crisol de filtro permite una filtración de MP hasta tamaños de partículas de 5 μm , lo cual les permitió determinar contenidos de MP por debajo de 0.01 $\mu\text{g/L}$ hasta 2 $\mu\text{g/L}$, dependiendo del tipo de botella. Esto puede estar directamente relacionado con el tipo de botella, especialmente con la calidad del material plástico del tapón de rosca. Dependiendo del material plástico, la formación de partículas aumenta debido a las operaciones de apertura y cierre durante el uso.

3.3. Esterilización en frío

La esterilización en frío por sistemas basados en membranas ha dado lugar a una nueva técnica de conservación de jugos. El jugo puede tener una vida útil prolongada sin conservadores ni aditivos que mantengan su sabor, olor y perfil nutricional. Este tipo de jugos tienen una gran demanda por parte de los consumidores. En general, varios sistemas de separación basados en membranas han demostrado su potencial en la industria de bebidas (Charcosset, 2020).

La leche recolectada en plantas lecheras presenta el riesgo de contener bacterias patógenas para humanos como *Listeria*, *Brucella*, *Mycobacterium* o *Salmonella* (Saboya *et al.*, 2000). Por lo tanto, se debe lograr la reducción de bacterias y esporas, sin cambiar la funcionalidad de las proteínas de la leche (Ding *et al.*, 2016). Actualmente se utiliza la MF en la industria láctea para la eliminación de bacterias y esporas, ya que reduce la cantidad de estos microorganismos sin afectar el sabor, y brinda una vida útil más prolongada que la pasteurización. Se ha reportado que los factores de reducción decimal por MF son más altos que por bactofugación (Charcosset, 2021).

Griep *et al.* (2018) demostraron que las características de la superficie de la membrana pueden afectar la retención de esporas, debido a sus dimensiones, observando que es preferible utilizar una membrana con un poro de 1.2 μm , en lugar del tamaño tradicional de 1.4 μm . Sin embargo, este tamaño de poro puede conducir a una mayor retención de micelas de caseína, lo que provoca una disminución en la concentración de proteína de la leche y también un mayor ensuciamiento de la membrana.

En otro estudio de Lamdande *et al.* (2020) se plantea el tratamiento con membranas como un método limpio, ecológico y energéticamente eficiente para la esterilización en frío del agua de

coco tierna (TCW). El flujo de permeado se evaluó en función de diferentes mecanismos de ensuciamiento. Se observó que la carga microbiana de TCW después de la ultrafiltración disminuyó de 4.16 a 0.0 log UFC/mL, logrando la esterilización en frío. La calidad sensorial del TCW ultrafiltrado se mantuvo por un periodo de almacenamiento de tres meses con recuento cero en crecimiento microbiano.

3.4. Filtros funcionalizados

Se ha demostrado que la tecnología de filtración es una excelente alternativa, pero los materiales a menudo tienen problemas de ensuciamiento y deben usarse en combinación o en secuencia con otros tratamientos para lograr un mejor rendimiento. El ensuciamiento causado por coloides, productos químicos y microbios rechazados exige una atención considerable porque puede resultar en una mayor demanda de energía, una limpieza costosa y el reemplazo frecuente de los filtros (Thomas y Alcantar, 2017).

Debido a lo anterior, el desarrollo de materiales mejorados, seguros y estables que permitan una eliminación microbiana rápida y eficaz es de gran interés. En este sentido, la funcionalización de la superficie de los materiales filtrantes disponibles puede ser un enfoque clave. Para ello, la selección de los siguientes parámetros es crucial: el material adecuado en términos de granulometría y características superficiales, propiedades antimicrobianas y seguridad del compuesto inmovilizado, biocompatibilidad tanto del soporte como de la molécula bioactiva, y fácil procedimiento de funcionalización (Thomas y Alcantar, 2017; Zhang *et al.*, 2011). La optimización de estos puntos clave podría garantizar el correcto desarrollo de los soportes antimicrobianos (Indumathi *et al.*, 2019).

Los agentes antimicrobianos son compuestos químicos que pueden inhibir el crecimiento o inactivar microorganismos (Buckow *et al.*, 2009). Según su origen, los antimicrobianos utilizados en la industria alimentaria se pueden clasificar en conservadores artificiales o sintéticos y conservadores naturales. Algunos de los conservadores antimicrobianos artificiales más comunes son los benzoatos, sorbatos, propionatos y nitratos, mientras que los compuestos antimicrobianos de origen natural incluyen bacteriocinas basadas en microorganismos, enzimas animales, polímeros o ácidos grasos y metabolitos vegetales como ácidos grasos o compuestos fenólicos (Peña-Gómez, Ruiz-Rico, Pérez-Esteve *et al.*, 2019).

La mayoría de las aplicaciones propuestas basadas en soportes modificados se han utilizado para el diseño de sistemas de desinfección de agua en el punto de uso. La celulosa (filtros comerciales, papel secante absorbente y fibras de algodón) ha sido el material por excelencia para el anclaje de nanopartículas de plata. En varios estudios se han aplicado diferentes mecanismos de inmovilización, como la impregnación (Oyanedel-

Craver y Smith, 2007), la deposición por reducción *in situ* de nitrato de plata sobre las fibras de celulosa (Dankovich y Gray, 2011), o injerto covalente con soportes celulósicos previamente modificados en la superficie (Artés-Hernández *et al.*, 2021). En algunos de ellos, puede presentarse una liberación de plata (Ag) en contacto con el agua; sin embargo, el uso de soportes celulósicos funcionalizados covalentemente con nanopartícu-

Tabla III. Soportes funcionalizados con diferentes compuestos

Soporte	Agente antimicrobiano inmovilizado	Microorganismo evaluado	Sistema evaluado	Resultado	Referencia
Perlas de quitosano	Lisozima de clara de huevo	<i>Oenococcus oeni</i>	Vino blanco	Actividad antimicrobiana pero no actividad enzimática.	Liburdi <i>et al.</i> , 2016
Halloysita	ZnO NP y CeO ₂ NP	<i>E. coli</i>	<i>In vitro</i>	Se inhibe eficazmente el crecimiento, la propagación y la supervivencia bacterianos.	Shu <i>et al.</i> , 2017
Nanofibra de acetato de celulosa	Ag NP en TiO ₂ NP	<i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i>	<i>In vitro</i>	Actividad antibacterial por 36 horas.	Jatoi <i>et al.</i> , 2019
Nanofibras de CA, PAN, PVP	AgNO ₃ NP	<i>E. coli</i> y <i>P. aeruginosa</i>	<i>In vitro</i>	Mayor actividad antimicrobiana en nanofibras de PAN.	Lala <i>et al.</i> , 2007
Nanofibras de celulosa aniónica	Ag y Ag NP	<i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i>	Sistema modelo	Mayor actividad antimicrobiana con Ag.	Gopiraman <i>et al.</i> , 2016
Sílice pirógena, sílice amorfa y micropartículas de sílice mesoporosa	Carvacrol, eugenol, timol y vainillina	<i>S. aureus</i> , <i>L. innocua</i> y <i>E. coli</i>	<i>In vitro</i> e <i>in situ</i> (aditivo conservador en leche)	Reducción del crecimiento microbiano en 1.5 ciclos logarítmicos en el día tres de incubación.	Ruiz-Rico <i>et al.</i> , 2017
Nanofibras de celulosa	Amino silanos	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i>	<i>In vitro</i>	Restringir completamente el crecimiento bacteriano después de 24 horas con bacterias <i>Gram</i> -positivas.	Saini <i>et al.</i> , 2017

ZnO NP - nanopartículas de dióxido de zinc, CeO₂ NP - nanopartículas de óxido de cerio, Ag NP - nanopartículas de plata, TiO₂ NP - nanopartículas de dióxido de titanio, AgNO₃ NP - nanopartículas de nitrato de plata, Ag - plata, CA - acetato de celulosa, PAN - poliacrilonitrilo, PVP-poli (N-vinilpirrolidona).

las de Ag previene la liberación del compuesto inmovilizado y ha mostrado actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli* después de filtrar agua contaminada (Sinclair *et al.*, 2014). Además, los materiales de celulosa han demostrado su capacidad para cargarse electrostáticamente. Esta celulosa modificada se aplicó en un sistema de purificación portátil para obtener agua potable. Específicamente, las fibras de pulpa de madera blanca y el papel de filtro de café se funcionalizaron con polielectrolitos, y las bacterias dispersas en agua se adsorbieron en las fibras de celulosa, las cuales pudieron eliminar más del 99.9 % de *E. coli* presente (Saffarionpour y Ottens, 2018).

En otro estudio, un filtro de agua empacado con gasas de algodón se revistió con quitosano usando un proceso de curado por UV o se cationizó mediante la introducción de grupos de amonio cuaternario. Los materiales mostraron una buena actividad antibacteriana contra *E. coli*, *Staphylococcus aureus* y *K. pneumoniae* (Ferrero *et al.*, 2014). En un segundo intento, se desarrolló un filtro de agua para la desinfección biológica contra bacterias *Gram* positivas, lo que resultó en una buena actividad antibacteriana. Sin embargo, se observó una liberación parcial de quitosano injertado, aunque el flujo de agua redujo la cantidad de quitosano lixiviado (Truffa-Giachet *et al.*, 2018). Otros ejemplos de materiales funcionalizados con agentes antimicrobianos se observan en la tabla III, junto con los materiales de soporte utilizados, el agente antimicrobiano y la matriz a evaluar.

Como otro material polimérico funcionalizado con compuestos bioactivos, Cappannella *et al.* (2016) estudiaron la capacidad de la lisozima inmovilizada sobre el material de quitosano para conservar el vino y evitar la posible reacción alérgica derivada de la presencia de la enzima libre. Se inmovilizó covalentemente lisozima sobre soportes esféricos de quitosano para desarrollar un sistema de eliminación de bacterias lácticas en vino blanco y tinto mediante lisis enzimática. Las partículas se colocaron en un reactor de lecho fluidizado para permitir el flujo de los sustratos, obteniendo una alta superficie de contacto. Los

resultados mostraron que la lisozima inmovilizada producía una mayor lisis de ácido láctico que la forma libre.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Los procesos de filtración, presentes en la industria de alimentos, han evolucionado a lo largo de varias décadas, desde la filtración con arena hasta el desarrollo de nuevos materiales con características muy específicas para una función determinada, como las membranas de ósmosis inversa para la recuperación de agua potable.

Actualmente podemos sintetizar materiales con un tamaño de poro, dureza, permeabilidad o cualquier otra propiedad muy específica, lo que falta ahora es evaluar la factibilidad y alcance de la aplicación de estos nuevos materiales, analizar si su uso es económicamente viable a gran escala y si el uso de filtros avanzados en conjunto con otras tecnologías puede llegar o no a sustituir algunos de los procesos en la industria de las bebidas tal y como los conocemos en la actualidad.

Una tendencia actual es la de buscar productos o alimentos mínimamente procesados y no utilizar conservadores sintéticos, es por ello que el estudio de tecnologías como la filtración con materiales funcionalizados se abre paso con fuerza, pues plantea la posibilidad de obtener alimentos microbiológicamente seguros, manteniendo sus componentes bioactivos y propiedades sensoriales.

AGRADECIMIENTOS

La autora R. Hernández-López agradece a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por el financiamiento de sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Alimi, O. S., Farner-Budarz, J., Hernandez, L. M. y Tufenkji, N. (2018). Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport. *Environmental Science and Technology*, 52(4), 1704-1724.
- Amorim, M., Pereira, J. O., Gomes, D., Pereira, C. D., Pinheiro, H. y Pintado, M. (2016). Nutritional ingredients from spent brewer's yeast obtained by hydrolysis and selective membrane filtration integrated in a pilot process. *Journal of Food Engineering*, 185, 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.032>
- Arend, G. D., Adorno, W. T., Rezzadori, K., Di Luccio, M., Chaves, V. C., Reginatto, F. H. y Petrus, J. C. C. (2017a). Concentration of phenolic compounds from strawberry (*Fragaria X ananassa Duch*) juice by nanofiltration membrane. *Journal of Food Engineering*, 201, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.014>
- Arend, G. D., Adorno, W. T., Rezzadori, K., Di Luccio, M., Chaves, V. C., Reginatto, F. H. y Petrus, J. C. C. (2017b). Concentration of phenolic compounds from strawberry (*Fragaria X ananassa Duch*) juice by nanofiltration membrane. *Journal of Food Engineering*, 201, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.014>
- Arend, G. D., Rezzadori, K., Soares, L. S. y Petrus, J. C. C. (2019). Performance of nanofiltration process during concentration of strawberry juice. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 2312-2319. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03659-7>
- Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A., Artés, F. y Martínez-Hernández, G. B. (2021). Quality Changes of Fresh-Cut Watermelon During Storage as Affected by Cut Intensity and uv-c Pre-treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 14(3), 505-517.
- Arthanareeswaran, G., Sriyamuna Devi, T. K. y Raajenthiren, M. (2008). Effect of silica particles on cellulose acetate blend ultrafiltration membranes: Part I. *Separation and Purification Technology*, 64(1), 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.SEPPUR.2008.08.010>
- Barbosa-Ríos, J. A., Castellón-Jardón, J., Guadarrama-Lezama, A. Y., Alvarez-Ramirez, J., Meraz, M. y Carrillo-Navas, H. (2018). Effect of new generation enzymes addition on the physical, viscoelastic and textural properties of traditional Mexican sweet bread. *Journal of Cereal Science*, 79, 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.012>
- Barboza, L. G. A., Dick Vethaak, A., Lavorante, B. R. B. O., Lundebye, A. K. y Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 336-348. <https://doi.org/10.1016/j.MARPOLBUL.2018.05.047>
- Barrows, C. y Robinson, M. (2018). Food and Beverage. En *Club Management* (p. 755). <https://doi.org/10.23912/9781911635062-3976>
- Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J. y Gerdt, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*, 5(8).
- Bhat, B., Gupta, M., Andrabi, S. T. y Bajaj, B. K. (2017). *Growth and viability of probiotic Weissella kimchi R-3 in fruit and vegetable beverages*.
- Bhattacharjee, C., Saxena, V. K. y Dutta, S. (2017). Fruit juice processing using membrane technology: A review. En *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (vol. 43, pp. 136-153). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>
- Blackburn, K. y Green, D. (2021). The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. *Ambio* 2021, 51(3), 518-530. <https://doi.org/10.1007/S13280-021-01589-9>
- Bortolassi, A. C. C., Guerra, V. G. y Aguiar, M. L. (2017). Characterization and evaluate the efficiency of different filter media in removing nanoparticles. *Separation and Purification Technology*, 175, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.SEPPUR.2016.11.010>
- Braun, U., Altmann, K., Herper, D., Knefel, M., Bednarz, M. y Bannick, C. G. (2021). Smart filters for the analysis of microplastic in beverages filled in plastic bottles. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 38(4), 691-700. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1889042>
- Buckow, R., Weiss, U. y Knorr, D. (2009). Inactivation kinetics of apple polyphenol oxidase in different pressure-temperature domains. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 441-448. <https://doi.org/10.1016/j.IFSET.2009.05.005>

- Buglass, A. J. (2010). Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects. *Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects*, 1-2. <https://doi.org/10.1002/9780470976524>
- Cappannella, E., Benucci, I., Lombardelli, C., Liburdi, K., Bavaro, T. y Esti, M. (2016). Immobilized lysozyme for the continuous lysis of lactic bacteria in wine: Bench-scale fluidized-bed reactor study. *Food Chemistry*, 210, 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.089>
- Cassano, A., Donato, L. y Drioli, E. (2007). Ultrafiltration of kiwifruit juice: Operating parameters, juice quality and membrane fouling. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 613-621. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.020>
- Cassano, Al., Rastogi, N. K. y Basile, A. (2015). Membrane technologies for water treatment and reuse in the food and beverage industries. En *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications* (pp. 551-580). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-121-4.00018-6>
- Castro-Enríquez, D. D., Montaña-Leyva, B., Del Toro-Sánchez, C. L., Juárez-Onofre, J. E., Carvajal-Millán, E., López-Ahumada, G. A., Barreras-Urbina, C. G., Tapia-Hernández, J. A. y Rodríguez-Félix, F. (2020). Effect of Ultrafiltration of Pitaya Extract (*Stenocereus thurberi*) on Its Phytochemical Content, Antioxidant Capacity, and UPLC-DAD-MS Profile. *Molecules* 2020, Vol. 25, Page 281, 25(2), 281. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25020281>
- Castro-Muñoz, R. (2019). Pervaporation: The emerging technique for extracting aroma compounds from food systems. *Journal of Food Engineering*, 253, 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.013>
- Castro-Muñoz, R. (2020). The strategy of nanomaterials in polymeric membranes for water treatment: Nanocomposite membranes / La estrategia de los nanomateriales en membranas poliméricas para el tratamiento de agua: membranas nanocompuestas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(1), 410-436.
- Charcosset, C. (2020). Classical and recent applications of membrane processes in the food industry. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 322-343. <https://doi.org/10.1007/S12393-020-09262-9>
- Charcosset, C. (2021). Classical and recent applications of membrane processes in the food industry. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 322-343.
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A. S. y Abert-Vian, M. (2017). Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. En *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (vol. 41, pp. 357-377). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016>
- Chhaya, C., Rai, P., Majumdar, G. C., Dasgupta, S. y De, S. (2008). Clarification of watermelon (*Citrullus lanatus*) juice by microfiltration. *Journal of Food Process Engineering*, 31(6), 768-782. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4530.2007.00188.X>
- Choi, I., Yoo, D. S., Chang, Y., Kim, S. Y. y Han, J. (2021). Polycaprolactone film functionalized with bacteriophage T4 promotes antibacterial activity of food packaging toward *Escherichia coli*. *Food Chemistry*, 346, 128883. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128883>
- Conidi, C., Drioli, E. y Cassano, A. (2020). Perspective of membrane technology in pomegranate juice processing: A review. En *Foods* (vol. 9, número 7, p. 889). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/foods9070889>
- Cristóvão, R. O., Botelho, C. M., Martins, R. J. E., Loureiro, J. M. y Boaventura, R. A. R. (2015). Fish canning industry wastewater treatment for water reuse - a case study. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 603-612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.076>
- Crowley, S. V., Gazi, I., Kelly, A. L., Huppertz, T. y O'Mahony, J. A. (2014). Influence of protein concentration on the physical characteristics and flow properties of milk protein concentrate powders. *Journal of Food Engineering*, 135, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.005>
- Crowley, S. V., O'Callaghan, T. F., Kelly, A. L., Fenelon, M. A. y O'Mahony, J. A. (2015). Use of ultrafiltration to prepare a novel permeate for application in the functionality testing of infant formula ingredients. *Separation and Purification Technology*, 141, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.11.047>
- Cuthbert, T. J., Ennis, S., Musolino, S. F., Buckley, H. L., Niikura, M., Wulff, J. E. y Menon, C. (2021). Covalent functionalization of polypropylene filters with diazirine-photosensitizer conjugates producing visible light driven virus

- inactivating materials. *Scientific Reports* 2021, 11(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98280-6>
- Dankovich, T. A. y Gray, D. G. (2011). Bactericidal Paper Impregnated with Silver Nanoparticles for Point-of-Use Water Treatment. *Environmental Science and Technology*, 45(5), 1992-1998. <https://doi.org/10.1021/ES103302I>
- Dawiec-Liśniewska, A., Szumny, A., Podstawczyk, D. y Witek-Krowiak, A. (2018). Concentration of natural aroma compounds from fruit juice hydrolyates by pervaporation in laboratory and semi-technical scale. Part 1. Base study. *Food Chemistry*, 258, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.023>
- De Oliveira, R. C., Docê, R. C. y De Barros, S. T. D. (2012). Clarification of passion fruit juice by microfiltration: Analyses of operating parameters, study of membrane fouling and juice quality. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.021>
- Dehaut, A., Cassone, A. L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Rivière, G., Lambert, C., Soudant, P., Huvet, A., Duflos, G. y Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>
- Deluhery, J. y Rajagopalan, N. (2008). Use of paramagnetic particles in membrane integrity testing. *Journal of Membrane Science*, 318(1-2), 176-181. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.02.042>
- Devi, R., Alemayehu, E., Singh, V., Kumar, A. y Mengistie, E. (2008). Removal of fluoride, arsenic and coliform bacteria by modified homemade filter media from drinking water. *Bioresource Technology*, 99(7), 2269-2274. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.002>
- Dincer, C., Tontul, I. y Topuz, A. (2016). A comparative study of black mulberry juice concentrates by thermal evaporation and osmotic distillation as influenced by storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.012>
- Ding, L., Zhang, W., Ould-Driss, A., Jaffrin, M. Y. y Tang, B. (2016). Concentration of Milk proteins for producing cheese using a shear-enhanced ultrafiltration technique. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(42), 11130-11138.
- Echavarría, A. P., Torras, C., Pagán, J. y Ibarz, A. (2011). Fruit Juice Processing and Membrane Technology Application. *Food Engineering Reviews*, 3(3-4), 136-158. <https://doi.org/10.1007/S12393-011-9042-8>
- El Rayess, Y. y Mietton-Peuchot, M. (2016). Membrane technologies in wine industry: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(12), 2005-2020. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.809566>
- Fadare, O. O., Wan, B., Guo, L. H. y Zhao, L. (2020). Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it? *Chemosphere*, 253, 126787. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126787>
- Ferrero, F., Periolatto, M., Vineis, C. y Varesano, A. (2014). Chitosan coated cotton gauze for antibacterial water filtration. *Carbohydrate Polymers*, 103(1), 207-212. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.037>
- Gialleli, A. I., Bekatorou, A., Kanellaki, M., Nigam, P. y Koutinas, A. A. (2016). Apple juice preservation through microbial adsorption by nano/micro-tubular cellulose. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 416-421. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.006>
- Gopiraman, M., Jatoi, A. W., Hiromichi, S., Yamaguchi, K., Jeon, H. Y., Chung, I. M. y Ick Soo, K. (2016). Silver coated anionic cellulose nanofiber composites for an efficient antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, 149, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.084>
- Griep, E. R., Cheng, Y. y Moraru, C. I. (2018). Efficient removal of spores from skim milk using cold microfiltration: Spore size and surface property considerations. *Journal of Dairy Science*, 101(11), 9703-9713. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-14888>
- Guo, H., Wyart, Y., Perot, J., Nauleau, F. y Moulin, P. (2010). Low-pressure membrane integrity tests for drinking water treatment: A review. *Water Research*, 44(1), 41-57. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.09.032>
- Gurak, P. D., Cabral, L. M. C., Rocha-Leão, M. H. M., Matta, V. M. y Freitas, S. P. (2010). Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 421-426. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.024>
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E. y Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current un-

- derstanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment*, 586, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Indumathi, M. P., Saral Sarojini, K. y Rajarajeswari, G. R. (2019). Antimicrobial and biodegradable chitosan/cellulose acetate phthalate/ZnO nano composite films with optimal oxygen permeability and hydrophobicity for extending the shelf life of black grape fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1112-1120. <https://doi.org/10.1016/j.ijbilo.2019.03.171>
- Jain, A. y De, S. (2019). Processing of beverages by membranes. *Processing and Sustainability of Beverages*, 517-560. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815259-1.00015-X>
- Jatoi, A. W., Kim, I. S. y Ni, Q. Q. (2019). Cellulose acetate nanofibers embedded with AgNPs anchored TiO₂ nanoparticles for long term excellent antibacterial applications. *Carbohydrate Polymers*, 207, 640-649. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.029>
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A. y Fernández-Gutiérrez, A. (2016). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices, 57(3), 637-652. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.914019>
- Källrot, M., Edlund, U. y Albertsson, A. C. (2006). Surface functionalization of degradable polymers by covalent grafting. *Biomaterials*, 27(9), 1788-1796. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.10.010>
- Khalloufi, S., Almeida-Rivera, C. y Bongers, P. (2010). A fundamental approach and its experimental validation to simulate density as a function of moisture content during drying processes. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 177-187. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.007>
- Khan, S. A. y Shah, L. A. (2021). *Polymer Membranes for Wastewater Treatment*. 175-194. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3164-1_6
- Kotsanopoulos, K. V. y Arvanitoyannis, I. S. (2015). Membrane Processing Technology in the Food Industry: Food Processing, Wastewater Treatment, and Effects on Physical, Microbiological, Organoleptic, and Nutritional Properties of Foods. En *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(9), 1147-1175. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.685992>
- Kumar, M., Tomar, M., Saurabh, V., Mahajan, T., Punia, S., Contreras, M. del M., Rudra, S. G., Kaur, C. y Kennedy, J. F. (2020). Emerging trends in pectin extraction and its anti-microbial functionalization using natural bioactives for application in food packaging. En *Trends in Food Science and Technology* (vol. 105, pp. 223-237). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.009>
- Labban, O., Chong, T. H. y Lienhard, J. H. (2018). Design and modeling of novel low-pressure nanofiltration hollow fiber modules for water softening and desalination pretreatment. *Desalination*, 439, 58-72. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.04.002>
- Lala, N. L., Ramaseshan, R., Bojun, L., Sundarrajan, S., Barhate, R. S., Liu, Y. J. y Ramakrishna, S. (2007). Fabrication of nanofibers with antimicrobial functionality used as filters: protection against bacterial contaminants. *Biotechnology and Bioengineering*, 97(6), 1357-1365. <https://doi.org/10.1002/BIT.21351>
- Lamdande, A. G., Mittal, R. y K. S. M. S., R. (2020). Flux evaluation based on fouling mechanism in acoustic field-assisted ultrafiltration for cold sterilization of tender coconut water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102312. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102312>
- Laorko, A., Tongchitpakdee, S. y Youravong, W. (2015). Economic assessment for cold sterilization and clarification of pineapple juice and coconut water using microfiltration. *Journal of Applied Membrane Science & Technology*, 17(1), 35-46. <https://doi.org/10.1113/AMST.V17I1.13>
- Liburdi, K., Benucci, I., Palumbo, F. y Esti, M. (2016). Lysozyme immobilized on chitosan beads: Kinetic characterization and antimicrobial activity in white wines. *Food Control*, 63, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.11.015>
- Luo, J., Guo, S., Wu, Y. y Wan, Y. (2018). Separation of sucrose and reducing sugar in cane molasses by nanofiltration. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 913-925. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2062-0>
- Macpherson, L. J., Geierstanger, B. H., Viswanath, V., Bandell, M., Eid, S. R., Hwang, S. W., Patapoutian, A. (1977). The pungency of garlic: Activation of TRPA1 and TRPV1 in response to allicin. *British Journal of Anaesthesia*, 107(3), 111070. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.04.018>

- Madaeni, S. S. y Pourghorbani, R. (2013). Preparation of PVDF/PES blend membranes for cold sterilization of water and milk. *Advances in Polymer Technology*, 32(S1), E141-E152. <https://doi.org/10.1002/ADV.20278>
- Mangindaan, D., Khoiruddin, K. y Wenten, I. G. (2018). Beverage dealcoholization processes: Past, present, and future. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.018>
- Matta, V. M., Moretti, R. H. y Cabral, L. M. C. (2004). Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 477-482.
- McCabe, W., Smith, J. y Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (4a ed.). McGraw-Hill.
- Medeiros, A. B. P., Pandey, A., Vandenberghe, L. P. S., Pastore, G. M. y Soccol, C. R. (2006). Production and recovery of aroma compounds produced by solid-state fermentation using different adsorbents. *Food Technology and Biotechnology*, 44(1), 47-51.
- Mierczynska-Vasilev, A. y Smith, P. A. (2015). Current state of knowledge and challenges in wine clarification. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21, 615-626. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12198>
- Ming, C., Xiaomin, X., Philippe, S. y Luc, F. (2021). Extensive review about industrial and laboratory dynamic filtration modules: Scientific production, configurations and performances. *Separation and Purification Technology*, 265 (October 2020), 118293. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118293>
- Mintenig, S. M., Löder, M. G. J., Primpke, S. y Gerdts, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment*, 648, 631-635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178>
- Nath, K., Dave, H. K. y Patel, T. M. (2018). Revisiting the recent applications of nano-filtration in food processing industries: Progress and prognosis. *Trends in Food Science & Technology*, 73, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.001>
- Onur, A., Ng, A., Garnier, G. y Batchelor, W. (2018). Engineering cellulose fibre inorganic composites for depth filtration and adsorption. *Separation and Purification Technology*, 203, 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.04.038>
- Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H. y Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, 141, 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>
- Oyanedel-Craver, V. A. y Smith, J. A. (2007). Sustainable Colloidal-Silver-Impregnated Ceramic Filter for Point-of-Use Water Treatment. *Environmental Science and Technology*, 42(3), 927-933. <https://doi.org/10.1021/ES071268U>
- Paes, J., Da Cunha, C. R. y Viotto, L. A. (2015). Concentration of lycopene in the pulp of papaya (*Carica papaya* L.) by ultrafiltration on a pilot scale. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 296-305. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.003>
- Pal, P., Kumar, R. y Ghosh, A. K. (2018). Analysis of process intensification and performance assessment for fermentative continuous production of bioethanol in a multi-staged membrane-integrated bioreactor system. *Energy Conversion and Management*, 171, 371-383. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.099>
- Panda, S. K., Bastia, A. K. y Sahoo, G. (2014). Process characteristics and nutritional evaluation of handia - a cereal based ethnic fermented food from odisha. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 13(1), 149-156. <https://www.researchgate.net/publication/286861722>
- Papafotopoulou-Patrinou, E., Gialleli, A. I., Kallis, M., Plessas, S., Alexopoulos, A., Mantzourani, I., Bezirtzoglou, E., Bekatorou, A., Kanellaki, M. y Koutinas, A. A. (2016). Microbiological assessment of tubular cellulose filters used for liquid foods cold pasteurization. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.016>
- Peña-Gómez, N., Ruiz-Rico, M., Fernández-Segovia, I. y Barat, J. M. (2018). Development of amino-functionalized membranes for removal of microorganism. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.023>
- Peña-Gómez, N., Ruiz-Rico, M., Fernández-Segovia, I. y Barat, J. M. (2019). Study of apple juice preservation by filtration through silica microparticles functionalised with essential oil components. *Food Control*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106749>
- Peña-Gómez, N., Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Fernández-Segovia, I. y Barat, J. M. (2019). Novel antimicrobial filtering materials based on carvacrol, eugenol, thymol and vanillin immobilized on silica microparticles for water treatment.

- Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102228>
- Prata, J. C., Da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C. y Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. En *Science of the Total Environment* (vol. 702, p. 134455). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Rascon-Escajeda, L. F., Cruz-Hernandez, M., Rodriguez-Jasso, R. M., Charles-Rodriguez, A. V., Robledo-Olivo, A., Contreras-Esquivel, J. C. y Belmares-Cerda, R. (2018). Discussion between alternative processing and preservation technologies and their application in beverages: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13322. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13322>
- Rastogi, N. K. (2018). Reverse Osmosis and forward osmosis for the concentration of fruit juices. En *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis* (pp. 241-259). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802230-6.00013-8>
- Redan, B. W. (2020). Processing Aids in food and beverage manufacturing: potential source of elemental and trace metal contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 13001-13007. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.9B08066>
- Rosária, M., Oliveira, M., Correia, A. C. y Jordão, A. M. (2022). Impact of Cross-Flow and Membrane Plate Filtrations under Winery-Scale Conditions on Phenolic Composition, Chromatic Characteristics and Sensory Profile of Different Red Wines. *Processes*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/pr10020284>
- Ruiz-Rico, M. y Barat, J. M. (2021). Natural antimicrobial-coated supports as filter aids for the microbiological stabilisation of drinks. *LWT*, 147, 111634. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111634>
- Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Bernardos, A., Sancenón, F., Martínez-Máñez, R., Marcos, M. D. y Barat, J. M. (2017). Enhanced antimicrobial activity of essential oil components immobilized on silica particles. *Food Chemistry*, 233, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.118>
- Saboya, L. V. y Maubois, J. L. (2000). Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Le Lait*, 80(6), 541-553.
- Saeed, F., Afzaal, M., Tufail, T. y Ahmad, A. (2019). Use of natural antimicrobial agents: A safe preservation approach. En *Active Antimicrobial Food Packaging*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80869>
- Saffarionpour, S. y Ottens, M. (2018). Recent Advances in Techniques for Flavor Recovery in Liquid Food Processing. *Food Engineering Reviews*, 10(2), 81-94. <https://doi.org/10.1007/S12393-017-9172-8>
- Saini, S., Belgacem, M. N. y Bras, J. (2017). Effect of variable aminoalkyl chains on chemical grafting of cellulose nanofiber and their antimicrobial activity. *Materials Science and Engineering: C*, 75, 760-768. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.02.062>
- Sakamoto, K., Fujii, K., Inoue, A., Kozuka, H. y Ohta, H. (2003). Differential Recovery of Terpene Hydrocarbons and Oxygenated Compounds from Condensates Containing Essential Oil Discharged during Concentration of Citrus Juices Using a Ceramic Membrane. *Food Science and Technology Research*, 9(1), 11-16. <https://doi.org/10.3136/FSTR9-11>
- Salas, C., Nypelö, T., Rodriguez-Abreu, C., Carrillo, C. y Rojas, O. J. (2014). Nanocellulose properties and applications in colloids and interfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 19(5), 383-396. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2014.10.003>
- Salgado, C. M., Fernández-Fernández, E., Palacio, L., Carmona, F. J., Hernández, A. y Prádanos, P. (2017). Application of pervaporation and nanofiltration membrane processes for the elaboration of full flavored low alcohol white wines. *Food and Bioproducts Processing*, 101, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.001>
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I. y Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *Science of The Total Environment*, 726, 138580. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138580>
- Shu, Z., Zhang, Y., Ouyang, J. y Yang, H. (2017). Characterization and synergistic antibacterial properties of ZnO and CeO₂ supported by halloysite. *Applied Surface Science*, 420, 833-838. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.219>
- Sinclair, T., Zieba, M., Irusta, S., Sebastián, V. y Arruebo, M. (2014). High-speed water sterilization using silver-containing cellulose membranes. *Nanotechnology*, 25(30). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/30/305101>

- Sinha, N. K. (2012). Apples and pears: production, physicochemical and nutritional quality, and major products. *Handbook of Fruits and Fruit Processing: Second Edition*, 365-383. <https://doi.org/10.1002/9781118352533.CH22>
- Tang, C. Y., Yang, Z., Guo, H., Wen, J. J., Nghiem, L. D. y Cornelissen, E. (2018). Potable water reuse through advanced membrane technology. *Environmental Science and Technology*, 52(18), 10215-10223. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.8B00562>
- Thomas, S. W. y Alcantar, N. A. (2017). System integration of functionalized natural materials. *MRS Bulletin*, 42(5), 343-349. <https://doi.org/10.1557/MRS.2017.90>
- Truffa-Giachet, F., Periolatto, M., Sanchez-Ramirez, D. O., Carletto, R. A., Varesano, A., Vineis, C. y Bongiovanni, R. (2018). Stability of ultraviolet-cured chitosan coating on cotton gauze for water filtration. En *Journal of Industrial Textiles*, 48(8), 1384-1396. <https://doi.org/10.1177/1528083718763777>
- Udayakumar, G. P., Kirthikaa, G. B., Muthusamy, S., Ramakrishnan, B. y Sivarajasekar, N. (2020). *Comparison and Evaluation of Electrospun Nanofiber Membrane for the Clarification of Grape Juice*. 77-92. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4638-9_7
- Ulbricht, M., Ansonge, W., Danielzik, I., König, M. y Schuster, O. (2009). Fouling in microfiltration of wine: The influence of the membrane polymer on adsorption of polyphenols and polysaccharides. *Separation and Purification Technology*, 68(3), 335-342. <https://doi.org/10.1016/J.SEPUR.2009.06.004>
- Urkiaga, A., De Las Fuentes, L., Acilu, M. y Uriarte, J. (2002). Membrane comparison for wine clarification by microfiltration. *Desalination*, 148(1-3), 115-120.
- Van Der Sluis, A. A., Dekker, M. y Van Boekel, M. A. J. S. (2005). Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. 3. Stability during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(4), 1073-1080. <https://doi.org/10.1021/jfo40270r>
- Völker, C., Kramm, J., Wagner-Völker, M. C., Kramm, J. y Wagner, M. (2020). On the creation of risk: framing of microplastics risks in science and media. *Global Challenges*, 4(6), 1900010. <https://doi.org/10.1002/GCH2.201900010>
- Vu, A., Darvishmanesh, S., Marroquin, M., Husson, S. M. y Wickramasinghe, S. R. (2016). Fouling of microfiltration membranes by biopolymers. En *Separation Science and Technology*, 51(8), 1370-1379. <https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1150295>
- Waley, A. S., Shaltout, O. E., Abu-El Yazeed, A. M., Al-Bakry, A. A. y Zeitoun, A. M. (2020). Bioactive compounds and physicochemical properties of fruit: orange juice mixes with Rosemary extract. *Alexandria Science Exchange Journal*, 41(2), 141-153. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2020.87197>
- Wang, L. y Lin, S. (2019). Mechanism of selective ion removal in membrane capacitive deionization for water softening. *Environmental Science and Technology*, 53(10), 5797-5804. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00655>
- Warsinger, D. M., Chakraborty, S., Tow, E. W., Plumlee, M. H., Bellona, C., Loutatidou, S., Karimi, L., Mikelonis, A. M., Achilli, A., Ghassemi, A., Padhye, L. P., Snyder, S. A., Curcio, S., Vecitis, C. D., Arafat, H. A. y Lienhard, J. H. (2018). A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse. *Progress in Polymer Science*, 81, 209-237. <https://doi.org/10.1016/J.PROG.POLYMSCI.2018.01.004>
- Welle, F. y Franz, R. (2018). Microplastic in bottled natural mineral water: literature review and considerations on exposure and risk assessment. En *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(12), 2482-2492. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1543957>
- Yang, Zhaochu, Egeland, E. B., Karlsen, F. y Jakobsen, H. (2009). Clogging failure in microfilter for blood cell separation and Its novel improvements tao dong. *Proceedings of the International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits, IPFA*, 759-763. <https://doi.org/10.1109/IPFA.2009.5232727>
- Yang, Zi, Zhou, Y., Feng, Z., Rui, X., Zhang, T. y Zhang, Z. (2019). A review on reverse osmosis and nanofiltration membranes for water purification. *Polymers* 2019, Vol. 11, Page 1252, 11(8), 1252. <https://doi.org/10.3390/POLYM11081252>
- Ye, Z. y Berson, R. E. (2014). Factors affecting cellulose hydrolysis based on inactivation of adsorbed enzymes. *Bioresource Technology*, 167, 582-586. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2014.06.070>
- Zhang, L., Luo, J., Menkhaus, T. J., Varadaraju, H., Sun, Y. y Fong, H. (2011). Antimicrobial nano-fibrous membranes developed from electrospun polyacrylonitrile nanofibers. *Journal of Membrane Science*, 369(1-2), 499-505. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2010.12.032>