

LA CONCENTRACIÓN DE JUGOS DE FRUTA: ASPECTOS BÁSICOS DE LOS PROCESOS SIN Y CON MEMBRANA

RITA ÁVILA-DE HERNÁNDEZ¹ Y JOHNNY BULLÓN-TORREALBA²

¹Dpto. Procesos Agroindustriales, Programa Ingeniería Agroindustrial, Decanato de Agronomía, Núcleo Obelisco, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto-Venezuela. ritaavila@ucla.edu.ve

²Laboratorio de Mezclado, Separaciones y Síntesis Industriales, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. jbullon@ula.ve

Recibido: enero 2013

Recibido en forma final revisado: mayo 2013

RESUMEN

El consumo de jugos de fruta es beneficioso para la salud. Son alimentos libres de colesterol y presentan antioxidantes naturales, que les confieren un atractivo especial a los consumidores. Los jugos poseen un 70-95 % de agua, pero su mayor importancia, desde el punto de vista nutricional, es su aporte a la dieta de vitaminas, minerales, enzimas y fibra. Sin embargo, los responsables del valor sensorial y nutricional de estos productos, son termosensibles, y el uso de tratamientos inapropiados para la concentración puede provocar pérdidas considerables de vitaminas, el deterioro del color, del aroma y del sabor. El propósito de este trabajo es presentar una revisión de algunas aplicaciones de los procesos que se utilizan para concentrar jugos de fruta -sin y con membrana- para ejemplificar sus aspectos básicos haciendo énfasis en ventajas, limitaciones, condiciones de operación y la calidad del concentrado. Los resultados indican que los procesos con membrana son una alternativa para superar los inconvenientes de aquellos que no la emplean, porque operan a temperaturas moderadas, retienen vitaminas y otros componentes importantes, además de ser muy versátiles y modulares.

Palabras clave: Membranas artificiales, Jugos de fruta, Calidad del concentrado, Compuestos termosensibles, Recuperación de aromas.

CONCENTRATION OF FRUIT JUICES: BASICS OF THE PROCESSES WITH AND WITHOUT MEMBRANE

ABSTRACT

The consumption of fruit juices is beneficial to health. They are cholesterol free foods and have natural antioxidants that give them a special appeal to consumers. Juices have 70-95% water, but more important, from the nutritional point of view, is their contribution to the diet of vitamins, minerals, enzymes and fiber. However, those responsible for the sensory and nutritional value of these products are heat sensitive. The use of inappropriate treatment for concentration may result in significant losses of vitamins, deterioration of color, aroma and flavor. The purpose of this paper is to present a review of some applications of the processes used to concentrate fruit juices -with and without membrane- to illustrate their basic aspects emphasizing advantages, limitations, operating conditions as well as the quality of the concentrate. The results indicate that the membrane processes are an alternative to overcome the shortcomings of those that not use it, because they operate at moderate temperatures, retain vitamins and other important components, and are modular and versatile.

Keywords: Artificial membranes, Fruit juices, Concentrate quality, Heat-sensitive compounds, Aroma recovery.

INTRODUCCIÓN

El consumo de jugo de frutas es beneficioso para la salud. Es un alimento libre de colesterol, contiene antioxidantes naturales (Tillotson, 2003) y posee un 70-95 % de agua; pero su mayor importancia es su aporte de vitaminas, minerales, enzimas y carbohidratos a la dieta (Grupo Latino Ltda,

2006). El jugo de frutas contiene un 100 por ciento de los componentes de la misma, mientras que los concentrados se definen en función del contenido de fruta, y éste varía según las normativas vigentes en cada país (Arthey & Ashurst, 1996). En Venezuela, la Norma COVENIN 1030-81 (1995) establece que un jugo es “el producto líquido fermentable, pero no fermentado, obtenido por procedimientos

mecánicos o enzimáticos, a partir de la fruta o vegetales maduros, sanos y limpios con color, aroma y sabor típicos de la fruta o el vegetal del que proceden”; por su parte un concentrado, es el “producto obtenido a partir de los jugos de fruta o vegetales, mediante la eliminación por procedimientos físicos de parte del agua de constitución, al que se le puede restituir aromas recuperados del proceso.”

Desde que los consumidores coinciden en demandar bebidas con sabores frescos y libres de aditivos químicos, las industrias de jugo hacen esfuerzos por desarrollar nuevos y mejores productos que garanticen la calidad que se les exige. En consecuencia, se emplean parámetros como la turbidez/transparencia, el aroma, la homogeneidad (Vaillant *et al.* 2001) y el contenido nutricional, para el control y el procesamiento de los jugos de fruta. Esto redefine el concepto de calidad e involucra, además de las características de la fruta, los métodos que se emplean en su producción y comercialización; porque utilizar tratamientos inapropiados para producir los jugos puede provocar pérdidas de vitaminas (Acevedo & Avanza, 2005), deteriorar el color (Jiao *et al.* 2004), el aroma (Cassano *et al.* 2004) y el sabor de los productos (Matta *et al.* 2004).

Considerando las ideas precedentes, el propósito de este trabajo es presentar una revisión de algunas aplicaciones de los procesos que se utilizan para concentrar jugos de fruta -sin y con membrana- para ejemplificar sus aspectos básicos haciendo énfasis en ventajas, limitaciones, condiciones de operación y la calidad del concentrado.

TÉCNICAS METODOLÓGICAS

El objetivo que se plantea en esta investigación descriptiva, se logra mediante una revisión documental y el posterior análisis de algunos procesos que se emplean para concentrar los jugos de fruta y sus aplicaciones.

RESULTADOS

LA CONCENTRACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS A BASE DE FRUTA

Los jugos que se comercializan son de dos tipos: los *frescos*, que provienen del exprimido de la fruta, y los *reconstituidos*, que son los que se preparan a partir de los concentrados (Cassano *et al.* 2003). En especial estos últimos son de interés industrial porque se utilizan en la formulación de helados, siropes, gelatinas y colados de fruta, entre otros productos, y su importancia se resume en: (i) Los concentrados son microbiológicamente más estables que los jugos naturales, por su baja actividad de

agua (Cassano *et al.* 2004). En consecuencia, aumenta la vida de anaquel de los productos (Matta *et al.* 2004); (ii) Se reducen los volúmenes de empaque y almacenamiento, y los costos de manejo y de transporte (Vera *et al.* 2009). En efecto, se puede guardar de 6 a 7 veces más producto si el jugo está concentrado que si está al natural (Gea Wiegand, S/F); y, (iii) Los concentrados, debido a su alto contenido de azúcares, pueden preservarse en ambientes no refrigerados (Gea Wiegand, S/F).

PROCESOS QUE SE EMPLEAN PARA CONCENTRAR JUGOS DE FRUTA

La elaboración de jugos de fruta es muy antigua -se remonta a la extracción de los jugos de la vid para la producción de vinos-; sin embargo, sus métodos han evolucionado hasta consolidarse en la industria de los alimentos (Arthey *et al.* 1996), dentro de la que existen diversidad de procesos pero con una misma finalidad: remover de manera selectiva una cantidad de agua del jugo original, mediante un suministro de energía al sistema permitiendo obtener dos fases: una constituida por el solvente -que puede ser sólida, líquida o gaseosa-, y la otra, el producto concentrado -siempre en estado líquido- (Pinto *et al.*, 1999), con un gusto y apariencia lo más similar posible al jugo original (Alves & Coelho, 2006).

En esta revisión esos procesos se dividen en dos grupos: *los sin membrana* y *los con membrana*. La primera clasificación contempla la evaporación y la criocentración, mientras que la segunda a los que emplean una membrana como medio de separación para la concentración de los jugos -por ejemplo, ósmosis inversa, ultrafiltración, entre otras-. Adicionalmente, en un punto aparte se reseñan brevemente tres casos especiales de concentración: la *pervaporación*, la *destilación con membrana* y la *evaporación osmótica*.

La concentración de los jugos involucra varias etapas. Se inicia con el lavado, molienda y prensado de la fruta para extraer el jugo crudo. Luego se somete a un tratamiento enzimático y una clarificación, y finalmente se concentra. En un procedimiento con membrana se realizan las mismas etapas, solo que existen diferencias en cómo se logran los objetivos en cada una de ellas. En la Figura 1, se muestra un diagrama que representa la producción de jugo de fruta. A la izquierda, una secuencia sin membrana y a la derecha una que sí la emplea.

LOS PROCESOS SIN MEMBRANA EN EL CONCENTRADO DE LOS JUGOS DE FRUTA

Los tratamientos térmicos a los que se someten los jugos

de fruta -concentración y pasteurización- operan entre los 75-90°C. Si bien su finalidad es retirar parte del agua y promover la esterilidad comercial, las temperaturas y los tiempos de procesamiento pueden degradar a las sustancias nutritivas (Jaeger *et al.* 2002). En otras palabras, durante la transformación industrial algunos de los atributos que determinan la calidad de los jugos y de los concentrados, son objeto de una marcada modificación a consecuencia del daño térmico y la oxidación química que degrada a los componentes más sensibles (Cassano *et al.* 2003) como las vitaminas, que en presencia de oxígeno se pierden y con el calor reducen su actividad (Matta *et al.* 2004). Estos tratamientos -por ejemplo, 100°C por 20 min- producen un jugo que al embotellarse es muy estable (Matta *et al.* 2004), pero que por los cambios que ocurren el producto final no se parece a la fruta de donde proviene (Cassano *et al.*, 2004). Los procesos, además de consumir mucho tiempo -de 12 a 36 horas-, en algunos casos requieren el uso de coadyuvantes de filtración y un equipamiento muy diverso que involucra un diseño de varias etapas que al tener una mayor demanda de energía, incrementa los costos de producción (Rodrigues *et al.* 2005). Cabe precisar que en el mercado existen varias clases de concentradores, siendo los más efectivos los de múltiple efecto; sin embargo, son las propiedades de la alimentación las que determinan la elección del tipo de evaporador, porque a medida en que un líquido se concentra, sus características fisicoquímicas se modifican.

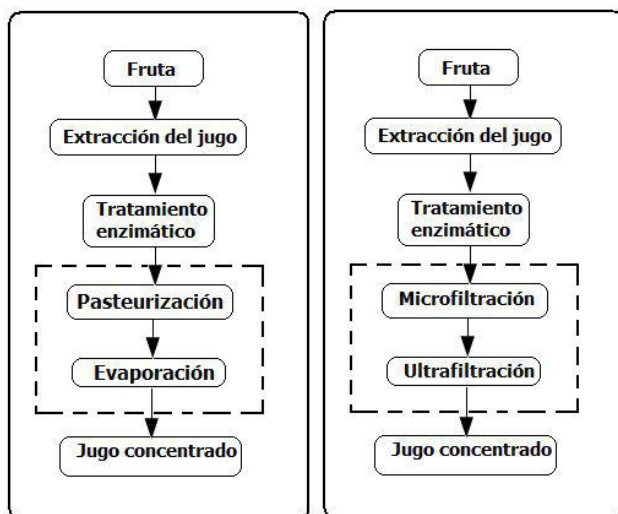


Figura 1. Diagrama para el concentrado, sin y con membranas, de un jugo de fruta (Ávila, 2012)

En resumen, la concentración por evaporación presenta varias limitaciones principalmente asociadas con deterioro de los atributos sensoriales -color, sabor, aroma- y del valor nutricional -vitaminas y otros fitoquímicos- de los concentrados por efecto del calor. Existen evidencias de que en los primeros minutos de la evaporación la mayoría

de los componentes aromáticos de la fruta cruda se pierden y el perfil aromático de ésta cambia irreversiblemente (Petrotos & Lazarides, 2001). En la Tabla 1, se sistematizan algunos hallazgos que permiten corroborar el deterioro de los concentrados que se obtienen con procedimientos sin membrana.

Tabla 1. Algunas evidencias reportadas del deterioro de los jugos de fruta concentrados por procesos sin membrana. (Fuente: Ávila, 2012)

Fruta	Deterioro reportado	Referencia
Semeruco	Durante la evaporación la pérdida de vitamina C, degrada la calidad del producto. Además, se promueve un “sabor a cocido” en el concentrado.	Matta <i>et al.</i> 2004.
Guanábana	En la concentración de la pulpa por evaporación, los componentes volátiles responsables de su flavor se pierden.	Pinto <i>et al.</i> 2005.
Naranja	Las temperaturas que se emplean en la evaporación al vacío (mayores a 50°C), degradan el sabor de la fruta y se pierde por oxidación parte de la vitamina C (aprox. 98%).	Cisse <i>et al.</i> 2005. Avalo <i>et al.</i> 2009.
Parchita	Los tratamientos térmicos promueven la pérdida de los volátiles responsables del aroma y sabor, incluso en procesamientos de corta duración, aún con una recuperadora de aromas.	Vaillant <i>et al.</i> 1999. Vaillant <i>et al.</i> 2001.
Piña	La alteración fisicoquímica durante el almacenamiento de este jugo se atribuyen a los tratamientos empleados para su producción (evaporación).	Itoua <i>et al.</i> 1991.
Tomate	La concentración por evaporación causa el deterioro sensorial (color, sabor, aroma) y nutricional (vitaminas mayormente) del concentrado. En la evaporación de este jugo, ocurre: (i) sabor a cocido en el concentrado; (ii) cambio de color por degradación del licopeno; y (iii) disminución de su poder antioxidante.	Petrotos & Lazarides, 2001. Bottino <i>et al.</i> 2002.

Para superar la agresividad térmica de estos procesos, surge la crioconcentración. Ésta se emplea en jugos con *flavor* delicados, que tienden a degradarse durante la concentración. En la crioconcentración, el agua presente en los jugos se cristaliza a baja temperatura y los cristales se retiran a medida en que se forman, con lo que se aumenta su contenido en sólidos (Pinto *et al.*, 1999). Sin embargo, tiene la limitación técnica que con el hielo se pierden algunos componentes volátiles responsables del sabor y el olor de la fruta (Arthey & Ashurst, 1996) lo que disminuye su eficiencia. La crioconcentración se realiza en suspensión y en película, utilizando crioconcentradores de placas y progresivos, respectivamente (Ruíz *et al.* 2008). La mayoría de sus aplicaciones son en zumos de fruta y leche, lográndose concentraciones de sólidos solubles totales de 40°Brix -jugo de naranja- muy inferior a la que se obtiene con evaporación -60 a 65 °Brix- y a un costo superior (Cassano *et al.* 2003) y de un 25% para la leche (Ruíz *et al.* 2008). Esta técnica no se perfila como un sustituto de la evaporación convencional porque su uso es energéticamente más costoso (Cassano *et al.* 2004). En la actualidad las investigaciones en este campo se orientan a la disminución de estos costos y hacia aplicaciones con productos de alto valor agregado -mostos, café- cuyos precios en el mercado justifiquen esta inversión (Ruíz *et al.* 2008).

LOS PROCESOS CON MEMBRANA

En una operación con membrana una corriente que se alimenta, se separa en dos: un permeado -clarificado-, con el material que pasa a través de la membrana y un retenido -concentrado-, con el que no la atraviesa. Se utiliza para concentrar o purificar una solución o una suspensión -solvente/soluto o de partículas- y para fraccionar una mezcla -separación soluto/soluto- (Weisner & Aptel, 1998). Para que ocurra el transporte de masa se necesita de una fuerza que promueva el flujo y la relación entre ambos la gobierna la naturaleza de las especies a separar y la de la membrana (Pinto *et al.*, 1999). Las características deseables en las membranas que se utilizan en las operaciones con alimentos son: (i) proporcionar el grado de separación buscado, a un flujo rápido y durante un uso prolongado; (ii) resistir a la limpieza y desinfección, en el ámbito de una operación higiénicamente satisfactoria; y, (iii) tener una larga vida útil, bajo las condiciones de proceso a las que sean sometidas (Brennan *et al.* 1998). En la Tabla 2, se muestran las ventajas y las limitaciones de una selección de procedimientos con membrana que se emplean para concentrar jugos de fruta, como una alternativa para preservar los atributos nutricionales y organolépticos; y en la sección siguiente, se describen algunas de sus aplicaciones para destacar su desempeño. Cabe precisar

que las investigaciones que se reseñan son ilustrativas.

Tabla 2. Ventajas y limitaciones de algunos procesos con membranas que se emplean para concentrar jugos de fruta (Fuente: Jiao *et al.* 2004, Mohanty & Purkait, 2012 y Forero & Vélez, 2011)

Ventajas	Limitaciones
Ósmosis Inversa (OI)	
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura moderada. • Amplio espectro de aplicaciones industriales. • Puede combinarse con evaporación al vacío y sistemas de recompresión de vapor. • Energética y económicamente conveniente en comparación con la evaporación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Membrana susceptible a ensuciamiento. • Altas presiones de proceso. • La alimentación requiere pretratamiento para inactivación enzimática • Máxima concentración alcanzada 22-23°Brix. • Dificultad para concentrar soluciones con elevado contenido de sólidos. • Pérdida de componentes aromáticos durante el proceso. • Elevado costo de reemplazo de membranas • Elevado costo operativo.
Destilación con membranas (DM) y Ósmosis Directa (OD)	
<ul style="list-style-type: none"> • Adecuadas para el tratamiento de especies termosensibles. • Se alcanza hasta 60% de materia seca en el concentrado. • Modularidad, posibilidad de ensamble en serie y fácil escalado. • Condiciones de operación (P y T) moderadas. • Permite concentrar soluciones con elevado contenido de sólidos • No presenta limitaciones por ensuciamiento de la membrana y el flujo de permeado es constante. • Bajo costo de inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja capacidad de remoción de vapor (3 l/hm²). • La alimentación requiere pretratamiento para inactivación enzimática. • Costos de producción mayores que los de la evaporación. • Elevado costo de reemplazo de membranas

Ventajas	Limitaciones
Microfiltración (MF) y Ultrafiltración (UF)	
<ul style="list-style-type: none"> • Retiene microorganismos (esterilización al frío). • Fácil limpieza y mantenimiento. • Preserva componentes responsables de los atributos organolépticos y nutricionales. • Condiciones de operación (P y T) moderadas. • Elevada selectividad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso limitado en jugos muy pulposos. • Membranas sensibles al ensuciamiento y sus consecuencias.
Pervaporación (PV)	
<ul style="list-style-type: none"> • No necesita el uso de solventes. • Costo energético moderado. • Recupera aromas preservando su integridad molecular. • Selectivo y eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo de reemplazo de membranas.
Evaporación Osmótica (EO)	
<ul style="list-style-type: none"> • Proceso simple. • Costo energético moderado. • Recupera aromas preservando su integridad molecular. • Condiciones de operación (P y T) moderadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad para la interpretación matemática de los fenómenos de transporte que ocurren durante el proceso.

En síntesis, estos sistemas se consolidan en varios ámbitos industriales, por su capacidad de operar a temperaturas moderadas y con un bajo consumo energético, por lo que son un buen ejemplo de tecnología útil y eficiente para mejorar la calidad de los alimentos. Además, su uso no requiere aditivos o solventes y no promueve cambios de fase durante el proceso (Cassano *et al.* 2004).

LOS PROCESOS CON MEMBRANA EN EL CONCENTRADO DE LOS JUGOS DE FRUTA

Los procesos con membrana están sólidamente establecidos en el tratamiento de jugos de fruta como lo demuestran las siguientes investigaciones. En 2001, Petrotos & Lazarides emplean a la concentración osmótica para el tratamiento de jugo de tomate. Al comparar los procedimientos utilizados para concentrar alimentos, los que emplean membrana

avientajan a la evaporación por su bajo costo operativo y porque el tratamiento ocurre a temperaturas moderadas, aspecto muy beneficioso en el caso de los alimentos (Petrotos & Lazarides, 2001).

Por su parte, Jiao *et al.* (2004), al presentar las aplicaciones de los procesos con membrana en la concentración de jugo de frutas, enfatizan las desventajas que tiene la evaporación. En ese sentido, justifican el esfuerzo de las industrias de los alimentos por desarrollar procedimientos que no alteren las propiedades naturales de las frutas, en base de las preferencias que tienen los consumidores hacia jugos procesados que parecieran recién elaborados. Para dar respuesta a esta necesidad sugieren a la concentración por congelado, por sublimación y con membrana. Puntualizan que los procesos con membrana se perfilan como los más promisorios coincidiendo con las ventajas que describen Cassano *et al.* (2004). Sin embargo, una de las limitaciones que tienen éstos es el ensuciamiento de la membrana (Jiao *et al.* 2004). El ensuciamiento conduce a una pérdida progresiva del desempeño de la membrana -permeabilidad y selectividad- y es el producto de la deposición de partículas suspendidas o disueltas en ésta y en su superficie (Almecija *et al.* 2009). Esta condición ha orientado la investigación hacia estudios, como los que se muestran a continuación con la finalidad de superar este inconveniente. Por ejemplo, Jiratananon & Chanachai (1996) y Cardoso *et al.* (2012) en jugo de parchita; Barros *et al.* (2003) y Laorko *et al.* (2010) en jugo de piña; Constenla y Lozano (1997), De Bruijn *et al.* (2002, 2003) y Vladislavljevic *et al.* (2003) en jugo de manzana; y Cassano *et al.* (2007) en jugo de kiwi; estas investigaciones tienen en común el uso combinado de los sistemas con membrana y los pretratamientos enzimáticos para controlarlo. En todos los casos, además de prevenir el ensuciamiento, se promueve el flujo de permeado en unas condiciones de operación moderadas, que favorecen la productividad del proceso.

De estos procesos, la ultrafiltración sola, en contraste o en combinación con otros que emplean membrana, es un particular objeto de estudio. Una muestra de la aplicación de la ultrafiltración (UF) en comparación con la microfiltración (MF) lo presentan Youn *et al.* (2004), al evaluar el uso de pretratamientos -con enzimas, bentonita o carbón activado-, para reducir la turbidez del jugo de manzana y prevenir el ensuciamiento de la membrana. Los resultados revelan que el uso de coadyuvantes de filtración incrementan el flujo de permeado, y destaca la bentonita por su efectividad tanto en UF como en MF. Sin embargo, al considerar la turbidez, el color del producto y sus calidad nutricional, los mejores resultados se logran con UF. De manera similar, Jaeger *et al.* (2008) en un estudio de retención de azúcares para la

clarificación del jugo de piña, comparan la ultrafiltración y la microfiltración. Ambas se usan por separado y con un pretratamiento enzimático del jugo, en dos módulos -tubular y placa y marcos- para evaluar membranas de distintos materiales y tamaños nominales de poro -MWCO-. Concluyen que el MWCO de la membrana, el material y el tipo de módulo condicionan el contenido de azúcares en el jugo clarificado. Determinan que el módulo tubular se desempeña mejor que el de placa y marcos, y que la membrana de polisulfona de 50 KDa a 7,5 bar es superior en la recuperación de los azúcares.

Otra opción, es acoplar varios procedimientos con membrana, lo que se conoce como sistemas integrados de membrana. Estos ofrecen en un solo montaje, las ventajas que tiene cada proceso por separado. Cassano *et al.* (2004) y Koroknai *et al.* (2008) emplean la ultrafiltración (UF) y la destilación osmótica (DO) para concentrar jugo de kiwi y de frutos rojos, respectivamente. En ambos estudios la UF es una etapa previa a la DO, con la finalidad de primero clarificar el jugo y luego concentrarlo. Estos jugos además se tratan con enzimas para favorecer la permeación a través de la membrana y evitar su ensuciamiento. La elección de esos frutos se debe al elevado contenido de Vitamina C en el kiwi y el poder antioxidante que se le atribuye a los frutos rojos. En conclusión, la combinación UF-DO aprovecha por una parte, el buen desempeño de la UF para clarificar jugos reduciendo los sólidos suspendidos y la turbidez del jugo original; y por la otra, con DO el jugo clarificado se concentra a más de 60 °Brix, valor que no habría podido alcanzarse por separado. Resultados similares son los de Cassano *et al.* (2003) con la misma combinación para la clarificación y concentración de jugos cítricos -naranja, limón- y de zanahoria; y en el 2011, para jugo de granada. En estos trabajos se monitoriza el desempeño del acople UF-DO en términos de productividad -flujo de permeado y de remoción de agua- y la calidad del jugo procesado Cassano *et al.* (2011).

Otro ensamble lo presentan Echavarría *et al.* (2012). Estos autores proponen a la ultrafiltración junto con la ósmosis inversa combinadas con un tratamiento enzimático, para procesar jugo de durazno, pera, manzana y mandarina. Evalúan para cada fruta el flujo de permeado, sólidos solubles, viscosidad, densidad, pH, acidez, índice de formol, almidón, contenido de pulpa, color y presencia de pectinas. Los resultados muestran que, en todos los casos, la combinación de los tratamientos -enzimáticos y con membrana- incrementa el flujo de permeado en más de un 40 por ciento, conservando las propiedades nutricionales de los jugos.

LA PERVAPORACIÓN, LA DESTILACION CON MEMBRANA Y LA EVAPORACIÓN OSMÓTICA

Son procesos, con membrana, que se emplean mayoritariamente para separar componentes de mezclas líquidas. Pero a diferencia de otros procedimientos que también usan membrana, la separación ocurre promoviendo selectivamente el cambio de fase, de líquido a vapor, del componente de interés en condiciones de presión atmosférica y temperaturas próximas a la ambiental (Alves & Coelho, 2006). Existe además una particularidad que distingue a la evaporación osmótica -de los otros dos procesos- y es que para realizar la separación se necesita de una membrana hidrofóbica y de una solución osmótica, la que generalmente es una solución salina concentrada (Vaillant *et al.* 2001). Algunas ventajas de estos procesos se reseñan en la Tabla 2 y sus aplicaciones están en el ámbito de las separaciones de mezclas orgánicas; siendo en el caso de los jugos de fruta, en la recuperación de compuestos aromáticos y de otros considerados valiosos para la salud. Algunos ejemplos se describen a continuación.

En 2010, Figoli *et al.* realizan un estudio con pervaporación. Se evalúa el efecto de la temperatura de operación, en dos membranas -GFT1070 y SBS- en función del factor de enriquecimiento, para jugo de kiwi. Se presenta a la PV como una alternativa muy selectiva que concentra a los componentes responsables del aroma de esa fruta y que además no causa un impacto negativo en el ambiente. Los resultados indican que con la membrana GFT1070 -a 30 y 40°C- hay un enriquecimiento del vapor de hasta un 20% mientras que la SBS, a las mismas temperaturas, se puede alcanzar hasta un 80% (Figoli *et al.* 2010). En el 2000, Álvarez *et al.* hacen una propuesta, para jugo de manzana, que incluye -entre paréntesis el objetivo de cada etapa-: tratamiento enzimático en un reactor con membrana (lograr el máximo aprovechamiento de los enzimas), ósmosis inversa (preconcentrar evitando daño térmico), pervaporación (promover la calidad sensorial del concentrado) y evaporación convencional (alcanzar una concentración final de 72 °Brix). En este caso, la etapa de PV previa a la evaporación permite remover los componentes aromáticos y luego incorporarlos al concentrado, en una etapa posterior, y así obtener un producto final con atributos sensoriales mejorados (Álvarez *et al.* 2000).

En lo que respecta a destilación con membrana (DM), Bagger-Jorgensen *et al.* (2004) proponen este proceso al vacío para estudiar -en jugo de grosella negra- el factor de concentración (Cpermeado/Calimentación) en función de la temperatura (10-45°C) y la velocidad de la alimentación (100-500 l/h). Se seleccionan 7 compuestos

que son los más representativos del aroma de esa fruta; se observa que a mayor velocidad de la alimentación, hay un mayor factor de concentración; y a menor temperatura, el factor de concentración también es mayor. Los mejores resultados se obtienen con la combinación 10°C y 500 l/h; sin embargo, estas condiciones sólo favorecen la concentración de los ésteres. En consecuencia y para obtener una mejor recuperación de todos los compuestos aromáticos, se disminuye en un 5% la velocidad de flujo (400 l/h) pero manteniendo la temperatura en 10°C. A estas condiciones se obtiene un factor de recuperación del 68-83%, demostrando que este proceso es competitivo con la evaporación convencional con las ventajas de un menor gasto energético y menos daño a la solución.

La destilación con membrana, también se utiliza en acople con otros procedimientos con membrana. En 2010, Onsekizoglu y colaboradores (Onsekizoglu *et al.* 2010), con jugo de manzana, emplean la UF para clarificar el jugo y el clarificado se trata con DO, destilación con membrana (DM) y un acople DO-DM para concentrarlo. Evalúan el potencial de estos procesos y comparan la calidad de este concentrado vs. la de uno que se obtiene por evaporación convencional. Los resultados indican que con cualquiera de los procedimientos que se emplee para concentrar el jugo, se logra el mismo contenido de sólidos solubles (65° Brix) que con evaporación, pero a una temperatura menor (25 °C en promedio). Luego, al contrastar la calidad nutricional y sensorial de los concentrados con membrana, se concluye que todos preservan los atributos del jugo fresco -color y aroma- aspectos que se alteran con evaporación. Por su parte, con respecto al contenido de componentes fenólicos, ácidos orgánicos y azúcares, estos valores son estables en todos los procesos de concentración, incluida la evaporación. Sin embargo, al hacer esta misma comparación sólo entre los que emplean membrana, resulta que el acople DO-DM es la mejor alternativa porque retiene en mayor relación los componentes aromáticos del jugo, por su baja temperatura de operación y un menor tiempo de proceso.

Finalmente en evaporación osmótica (EO) Cisse *et al.* (2005), en jugo de naranja, utilizan este proceso para concentrar un jugo previamente clarificado con microfiltración. A distintas condiciones de operación evalúan la calidad del concentrado, considerando sólidos solubles totales, contenido de Vitamina C, color y aroma. Se obtiene hasta un 62% de sólidos solubles totales en un concentrado que, a pesar de que al inicio del proceso muestra pérdida de Vitamina C y deterioro del aroma, el producto final no presenta cambios en el color y preserva tanto sus atributos sensoriales como nutricionales. En efecto, cuando se compara sensorialmente el jugo inicial

con uno preparado a partir del concentrado reconstituido con el retenido pasteurizado, no existen diferencias estadísticamente significativas y éste último presenta características mejoradas en cuanto a su aroma y sabor.

También en jugo de naranja, Alves y Coelho (2006) comparan el desempeño de la DM vs la EO en función del flujo de agua y la retención de aromas característicos de esta fruta -butirato de etilo y citral-. El estudio se hace en dos etapas; primero con soluciones modelo y posteriormente, el proceso con mejor desempeño se utiliza para tratar jugo de naranja real. Se observa que en DM el flujo de agua es la mitad del flujo en EO debido al gradiente de temperatura entre el seno de la solución y la interfase con la membrana, que reduce la fuerza motriz para el transporte de agua. Por su parte en EO hay mayor retención de aroma por cantidad de agua removida, que en DM. Al no haber diferencia de temperatura en ambos lados de la membrana y siendo menor la actividad de los volátiles en la solución salina que en el agua, la fuerza motriz para el transporte de los aromas es menor. Considerando los aspectos estudiados, estos autores expresan que la EO tiene un mejor desempeño que la MD para concentrar soluciones modelo. Sin embargo, al probar la EO en un jugo de naranja real se observa un decaimiento en el flujo de agua. Ese descenso se atribuye a la presencia de pulpa y a moléculas como las proteínas que hacen que la resistencia al flujo aumente.

DISCUSIÓN

Para obtener jugos concentrados, una de las opciones es mediante evaporación multietapas al vacío (Jiao *et al.* 2004) y la posterior pasteurización. Ambas etapas requieren de temperaturas superiores a 90 °C (Matta *et al.* 2004), que afectan los atributos nutricionales y sensoriales de los jugos de fruta por depender de sustancias volátiles sensibles al calor (Matta *et al.* 2004). En consecuencia, estos tratamientos modifican algunos de los componentes presentes en el jugo de fruta, favoreciendo la aparición de un sabor secundario (Itoua *et al.* 1991) -lo que panelistas sensoriales han catalogado como “sabor a cocido” (Matta *et al.* 2004; Jiao *et al.* 2004)-, alteran su valor nutricional (Petrotos & Lazarides, 2001), y otras propiedades organolépticas como el sabor (Jiao *et al.* 2004) y el color (Koroknai *et al.* 2008).

Los procesos con membrana son una alternativa para producir un jugo con mejores características nutricionales porque en la mayoría de los casos operan a temperaturas moderadas. Adicionalmente, durante la separación no hay cambios de fase, lo que ofrece una ventaja energética frente a la destilación; y además, al no necesitar precalentar

la alimentación, las pérdidas organolépticas y de valor nutritivo son mínimas. Estos procedimientos tienen menos gastos de funcionamiento, de mano de obra y son de gran sencillez operativa. Tampoco ocurre la acumulación de productos dentro de la membrana y no se necesita la adición de solventes, como en la destilación azeotrópica o en la clarificación del agua por asentamiento y filtración convencional.

Sin embargo, las membranas tienen sus limitaciones. Están expuestas a ensuciamiento, incrustaciones biológicas y a la degradación, lo que limita su vida útil. En consecuencia, planear una metodología para los ciclos de limpieza es importante cuando se proyecta darles un uso en particular. Además durante la separación, el cambio en la concentración del producto hace que el flujo no sea constante y a medida de que éste se concentra se incrementa la viscosidad, se ensucian las membranas y limita las concentraciones a alcanzar. Generalmente, con estos procesos se consiguen concentraciones entre 40-45%, comparado con el 80% que se obtiene con la evaporación (Casp *et al.* 2003). Sin embargo existen otros procesos con membrana, como la destilación con membrana, que vienen a superar esta última limitación, lográndose una concentración de hasta 83 °Brix a condiciones de operación moderadas (Bagger-Jorgensen *et al.* 2004).

CONCLUSIONES

- La producción de jugos de fruta es un procedimiento que está bien consolidado en la industria de los alimentos y que contempla procesos sin y con membrana, ofreciendo diferentes resultados a distintas condiciones de operación.
- Los atributos nutricionales y sensoriales de los jugos de fruta dependen de sustancias volátiles que son muy sensibles a la aplicación de calor. Los concentrados que se obtienen mediante tratamientos sin membrana requieren temperaturas superiores a 90 °C, lo que causa un deterioro irreversible de esas características.
- Los procesos con membrana producen jugos y concentrados con mejores características nutricionales porque operan a temperaturas moderadas que favorecen el tratamiento de especies termosensibles; y, como para la remoción del agua no es necesario el cambio de fase, esta condición ofrece una ventaja energética en contraste a los que no emplean una membrana.
- La pervaporación, la destilación con membrana y la evaporación osmótica son alternativas que a diferencia de otros procesos con membrana superan la limitación del grado de concentración (°Brix) en el concentrado, lo que las hace aún más competitivas con la evaporación por su menor gasto energético.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dra. Carmen Vásquez (UNEXPO), al Dr. Antonio Cárdenas R. (Nano Dispersions Technology, Inc.), al Dr. Fabrice Vaillant (CITA-UCR) y al revisor anónimo, cuyas observaciones y aportes contribuyeron a la versión final de este trabajo.

ABREVIATURAS

DM: Destilación con membrana
DO: Destilación osmótica
EO: Evaporación Osmótica
MF: Microfiltración
MWCO: Tamaño de corte molecular de la membrana
OI: Ósmosis inversa
PV: Pervaporación
UF: Ultrafiltración

REFERENCIAS

- ACEVEDO, B. & AVANZA, J. (2005). Concentración por evaporación de jugos de lima rangpur. Univ. Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen E-056. Recuperado el 8/01/2013, de <http://goo.gl/dLwo5>.
- ALMECJA, M. C., MARTÍNEZ-FEREZ, A., GUADIX, A., PÁEZ, M. P., GUADIX, M. P. (2009). Influence of the cleaning temperature on the permeability of ceramic membranes. *Desalination*, 246; pp. 335-340.
- ÁLVAREZ, S., RIERA, F., ÁLVAREZ, R., COCA, J., CUPERUS, F., BOUWER, S., BOSWINKEL, G., VAN GEMERT, R., VELDSINK, J., GIORNO, L., DONATO, L., TODISCO, L., DRIOLI, E., OLSSON, J., TRAGARDH, G., GAETA, S., PANYOR, L. (2000). A new integrated membrane process for producing clarified apple juice and apple juice aroma concentrate. *J. of Food Eng.*, 46; pp. 109-125.
- ALVES, V. D. & COELHO, I. M. (2006). Orange juice concentration by osmotic evaporation and membrane distillation: a comparative study. *J. of Food Eng.*, 74; pp. 125-133.
- ARTHEY, D. & ASHURST, P. (1996). *Procesado de Frutas*. Zaragoza: Editorial Acirbia S. A.
- AVALO, B., PÉREZ, S., TOVAR, M. (2009). Caracterización preliminar del proceso de concentración del jugo natural de naranja en un evaporador de tres efectos. *Interciencia*, 34; pp. 784-790.

- ÁVILA, R. (2012). Valorización de las Características Saludables del Jugo de Guanábana Mediante Concentración con Ultrafiltración: Una Materia Prima Potencialmente Funcional Para la Industria de Alimentos y Bebidas. Temática de Tesis Doctoral no publicada, aprobada en Sesión N° 2012-03 de la CEP UNEXPO-VRBarquisimeto el 10/02-2012.
- ÁVILA, R. (2012). Aplicaciones de las tecnologías con membrana en la agroindustria. Presentación en las IV Jornadas Integrales de Ingeniería Agroindustrial UCLA-Barquisimeto abril, 2012.
- BAGGER-JORGENSEN, R., MEYER, A., VARMING, C., JONSSON, G. (2004). Recovery of aroma volatile compounds from black currant juice by vacuum membrane distillation. *J. of Food Eng.*, 64; pp. 23-31.
- BARROS, S., ANDRADE, C., MENDES, E., PERES, L., (2003). Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. *J. of Membrane Sci.*, 215; pp. 213-224.
- BOTTINO, A., CAPANNELLI, G., TURCHINI, A., DELLA VALLE, P., TREVISAN, M. (2002). Integrated membrane processes for the concentration of tomato juice. *Desalination*, 148; pp. 73-77.
- BRENNAN, J., BUTTERS, J., COWELL, N., LILLEY, A. (1998). *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. 3era edición. Zaragoza: Editorial Acribia S.A.
- CARDOSO, R., CALEFFI, R., DAVANTEL, S. (2012). Clarification of passion fruit juice by microfiltration: Analyses of operating parameters, study of membrane fouling and juice quality. *J. of Food Eng.*, 111; pp. 432-439.
- CASP, A. & ABRIL, J. (2003). *Procesos de Conservación de Alimentos*. Madrid: Editorial Mundi-Prensa.
- CASSANO, A., DRIOLI, E., GALAVERNA, G., MARCHELLI, R., DI SILVESTRO, G., CAGNASSO, P. (2003). Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. *J. of Food Technol.*, 57; pp. 153-163.
- CASSANO, A., JIAO, B., DRIOLI, E. (2004). Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. *Food Research International*, 37; pp. 139-148.
- CASSANO, A., CONIDI, C., TIMPONE, R., D'AVELLA, M., DRIOLI, E. (2007). A membrane-based process for the clarification and the concentration of the cactus pear juice. *J. of Food Eng.*, 80; pp. 914-921.
- CASSANO, A., CONIDI, C., DRIOLI, E. (2011). Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum L.*) using membrane processes. *J. of Food Eng.*, 107; pp. 366-373.
- CISSE, M., VAILLANT, F., PÉREZ, A., DORNIER, M., REYNES, M. (2005). The quality of orange juice processed by coupling crossflow microfiltration and osmotic evaporation. *International J. of Food Sci. Technol.*, 40; pp. 105-116.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES COVENIN (1995). *Jugos y Néctares. Características Generales. Norma 1030-81, 1era revisión*. Caracas: Editorial FONDONORMA.
- CONSTENLA, D. & LOZANO, J. (1997). Hollow fibre ultrafiltration of apple juice: macroscopic approach. *Lebensm. Wiss. u.-Technol.*, 30; pp. 373-378.
- DE BRUIJN, J., VENEGAS, A., BÓRQUEZ, R. (2002). Influence of crossflow ultrafiltration on membrane fouling and apple juice quality. *Desalination*, 148; pp. 131-136.
- DE BRUIJN, J., VENEGAS, A., MARTÍNEZ, J., BÓRQUEZ, R. (2003). Ultrafiltration performance of Carbosep membranes for the clarification of apple juice. *Lebensm. Wiss. u.-Technol.*, 36; pp. 397-406.
- ECHAVARRÍA, A., FALGUERA, V., TORRAS, C., BERDÚM, C., PAGÁN, J., IBARZ, A. (2012). Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices at pilot plant scale. *LWT-Food Sci. and Technol.*, 46; pp. 189-195.
- FIGOLI, A., TAGARELLI, A., CAVALIERE, B., VOICI, C., SINDONA, G., SIKDAR, S.S., DRIOLI, E. (2010). Evaluation of pervaporation process of kiwifruit juice by SPM-GC/Ion Trap Spectrometry. *Desalination*, 250; pp. 1113-1117.
- FORERO, F. & VÉLEZ, C. (2011). Analysing transfer phenomena in osmotic evaporation. *Ingeniería e Investigación*, 31. Recuperado el 15/02/2013, de <http://goo.gl/CscYk>.
- GEA WIEGAN. (S/F). *Evaporation Technology for the Juice Industry*. Recuperado el 8/06/2012, de <http://www.geawiegand.com/>
- GRUPO LATINO LTDA. (2006). *Manual del Ingeniero de Alimentos*. Bogotá.

- ITOUA, S., DAVIN, A., MIETTON, M., BEN, R. (1991). Interet des techniques a membrane dans la production de jus de fruits tropicaux (cas des jus clarifiés d'anana): A evolution des flux de filtration au cours du procede. *Fruits*, 46; pp. 251-258.
- JAEGER, L., MIRANDA, I., BENTO, C. (2008). A study of retention of sugars in the process of clarification of pineapple juice (*Ananas comosus*, L. Merrill) by micro- and ultra-filtration, *J. of Food Eng.*, 87; pp. 447-454.
- JAEGER, L., BENTO, C., GAVA, J., ABADÍO, F. (2002). Commercial sterilization of fruit juices by ultrafiltration/microfiltration membranes, *Alimentaria*, 333; pp. 123-128.
- JIAO, B., CASSANO, A., DRIOLI, E. (2004). Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *J. of Food Eng.*, 63; pp. 303-324.
- JIRARATANANON, R. & CHANACHAI, A. (1996). A study of fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice. *J. of Membrane Sci.*, 111; pp. 39-48.
- KOROKNAI, B., CSANÁDI, Z., GUBICZA, L., BÉLAFI-BAKÓ, K. (2008). Preservation of antioxidant capacity and flux enhancement in concentration of red fruits by membrane processes. *Desalination*, 228; pp. 295-301.
- LAORKO, A., LI, Z., TONGCHITPAKDEE, S., CHANTACHUM, S., YOURAVONG, W. (2010). Effect of membrane property and operating conditions on phytochemical properties and permeate flux during clarification of pineapple juice. *J. of Food Eng.*, 100; pp. 514-521.
- MATTA, V., MORETTI, R., CABRAL, L. (2004). Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *J. of Food Eng.* 61; pp. 477-482.
- MOHANTY, K. & PURKAIT, M. K. (2012). *Membrane Technologies and Applications*. CRC Press, Taylor Francis. Florida.
- ONSEKIZOGLU, P., SAVAS, K., JALE, M. (2010). Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: A comparative quality assesment. *J. of Membrane Sci.*, 352; pp. 160-165.
- PETROTOS, K. & LAZARIDES, H. (2001). Osmotic concentration of liquid foods. *J. of Food Eng.*, 49; pp. 201-206.
- PINTO, A., CORDEIRO, M., DE ANDRADE, S., FIGUEIRAS, H., ALVES, R., KIMPARA, D. (2005). *Annonas species*. International Centre for Underutilised Crops. University of Southampton, Southampton, U.K.
- PINTO, C., LAESPADA, M., PAVON, J., CORDERO, B. (1999). Analytical applications of separation techniques through membranes. *Lab. Automation and Information Management*. 34; pp. 115-130.
- RODRIGUES, E., SCOLIN, E., CURVELO, N., DAVANTEL, S. (2005). Evaluation of the acerola juice concentrated by reverse osmosis. *Brazilian Archives of Biology and Technol.*, 48; pp. 175-183.
- RUIZ, Y., SÁNCHEZ, J., AULEDA, J. M., HERNÁNDEZ, E., RAVENTÓS, M. (2008). Aplicaciones de la criocentración en la Industria Agroalimentaria. Revisión. V Congreso Español de Ingeniería de Alimentos y II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria, CESIA-CIBSA. Barcelona. Recuperado el 18/02/2013 de <http://goo.gl/yNxPm>
- TILLOTSON, J. (2003). Juices in the 21st century: a futuristic vision of the global fruit and vegetable juice industry. Recuperado el 15/06/2012 de www.cranberrystressline.com/james_tillotson.html.
- VAILLANT, F., MILLÁN, P., O'BRIEN, G., DORNIER, M., DECLoux, M., REYNES, M. (1999). Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. *J. of Food Eng.*, 42; pp. 215-224.
- VAILLANT, F., MILLÁN, A., DORNIER, M., DECLoux, M., REYNES, M. (2001). Strategy for economical optimisation of the clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration, *J. of Food Eng.*, 48; pp. 83-90.
- VERA, E., SANDEAUX, J., PERSIN, F., POURCELLY, G., DORNIER, M., RUALES, J. (2009). Deacidification of passion fruit juice by electrodialysis with bipolar membrane after different pretreatments. *J. of Food Eng.*, 90; pp. 67-73.
- VLADISAVLJEVIC, G., VUKOSAVLJEVIC, P., BUKVIC, B. (2003). Permeate flux and fouling resistance in ultrafiltration of depectinized apple juice using ceramic membranes. *J. of Food Eng.*, 60; pp. 241-247.
- WEISNER, M. & APTEL, P. (1998). Transporte de masa, caudal de permeado y ensuciamiento en procesos impulsados por presión. En: *American Water Works Association, AWWA. Tratamiento del Agua por Procesos de*

Membranas: Principios, Procesos y Aplicaciones. Water Research Comission of South Africa (Ed.), Madrid: Editorial Mac Graw Hill.

YOUN, K., HONG, J., BAE, D., KIM, S., KIM, S. (2004). Effective clarifying process of reconstituted apple juice using membrane filtration with filter-aid pretreatment. J. of Membrane Sci., 228; pp. 179-186.