

PROCESAMIENTO DE JUGO DE FRUTAS EMPLEANDO TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

LUIS C. CHAPARRO T., SORAYA O. CASTILLO DE GUERRA

Departamento de Procesos Agroindustriales. Programa de Ingeniería Agroindustrial. Decanato de Agronomía.
Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado UCLA. Apartado Postal 3001, Tel.: +58-251-2592005-1679
e mails: luischaparro@ucla.edu.ve; sorayac@ucla.edu.ve

Recibido: junio 2015

Aprobado para publicación: diciembre 2015

RESUMEN

El presente manuscrito contempla una discusión de las bases técnicas que rigen los procesos de separación por membranas, y su aplicación en la mejora de la calidad de jugos de frutas. Esta tecnología forma parte de los métodos de procesamiento no térmicos aplicados en la industria de alimentos los cuales son utilizados en la elaboración de jugos clarificados y se basan en la acción selectiva de una membrana semipermeable, la cual permite el paso de algunos de los componentes del jugo y retiene otros. En la microfiltración de jugos de frutas se emplean membranas con tamaño de poro entre 0,2 y 2 μ m por lo cual pueden ser eliminados microorganismos, obteniéndose un filtrado inocuo, de alta calidad sensorial y nutricional. Por otra parte, se ha observado que los compuestos hidrofílicos del jugo como ésteres, alcoholes alifáticos y aldehídos, pueden traspasar fácilmente la membrana; por el contrario, la fracción hidrofóbica como los mono terpenos, hidrocarburos y carotenoides, son separados afectando la calidad del filtrado. Esta característica hace considerar la microfiltración tangencial como una tecnología aplicable al desarrollo de jugos de frutas clarificados de valor agregado, sin modificar sus características sensoriales.

Palabras clave: clarificación, membranas, microfiltración, permeado, retenido

FRUIT JUICE PROCESSING USING MEMBRANE TECHNOLOGY

ABSTRACT

This manuscript includes a discussion of the technical bases governing membrane separation processes and their application in improving the quality of fruit juices. This technology is part of the methods of non-thermal processing applied in the food industry which are used in the production of clarified juice and based on the selective action of a semipermeable membrane which allows passage of some of the juice components and retains others. In fruit juices microfiltration, membranes are used with pore size 0.2 to 2 μ m by which microorganisms may be removed, yielding an innocuous, high quality sensory and nutritional filtering. On the other hand, it has been observed that juice hydrophilic compounds as esters, aliphatic alcohols and aldehydes can easily pass through the membrane; on the contrary, the hydrophobic fraction as mono- terpenes, hydrocarbons and carotenoids are separated affecting the quality of the filtrate. This feature makes the tangential microfiltration be considered as a technology applicable to the development of clarified fruit juices added value, without changing their sensory characteristics.

Keywords: clarification, membranes, microfiltration, permeate, retentate, juice

INTRODUCCIÓN

La principal ventaja comparativa de los métodos de separación por membranas, respecto a otras técnicas de procesamiento de jugos de frutas, consiste en que las condiciones de trabajo se realizan a temperatura ambiente. Acosta *et al.*, (2010) señalan que la mayoría de los jugos

de frutas tropicales se caracterizan por su alto contenido de componentes volátiles, los cuales se pierden durante los procesos térmicos reduciendo la calidad sensorial del producto final. Este efecto se observa mayormente en frutas como melón, piña, parchita, y papaya, las cuales pueden perder hasta un 90% de sus compuestos aromáticos cuando son tratados por métodos convencionales.

Durante los procesos de microfiltración de jugos, el flujo de alimentación es forzado a atravesar una membrana semipermeable con un tamaño de poro generalmente entre 0,2 y 2 micras. De este proceso se obtiene un jugo claro, con un valor de turbidez menor a 1 NTU, por lo que el proceso posee el mismo efecto que una fuerte centrifugación, separando la fracción pulposa, obteniendo un filtrado microbiológicamente seguro (Esquivel, 2009). Un aspecto fundamental de este proceso es que las fracciones de compuestos hidrosolubles obtenidos del jugo clarificado (permeado) están aproximadamente en la misma concentración que en el jugo pulposo de alimentación; esta característica es de vital importancia, sobre todo cuando se trata de componentes nutricionales hidrosolubles como vitaminas, minerales, antioxidantes y pigmentos naturales.

En la elaboración de jugos clarificados por microfiltración, lo ideal es obtener altos flujos de permeado y con ello altos rendimientos; sin embargo existen variables que condicionan el proceso por lo cual es necesario su optimización. El manejo de cada una de estas variables difiere de un jugo a otro en función de su composición, por lo cual se esperarían mayores rendimientos en zumos poco pulposos, que en aquellos que sí lo son (Ramírez *et al.*, 2011).

En líneas generales se asocia un pre tratamiento enzimático con un aumento en la velocidad de filtración. Un tratamiento enzimático correcto no solo reduciría el contenido de sólidos insolubles, sino que también hidroliza los complejos amiláceos reduciendo el ensuciamiento de la membrana; además, de facilitar la liberación de compuestos de interés a la fase líquida Vaillant *et al.*, (2008). Choudhari y Ananthanarayan (2007) han indicado que un tratamiento enzimático con celulasa y pectinasa incrementa la velocidad de filtración en un 18% en jugo de tomate. Según este estudio las enzimas actúan sobre la pared rígida primaria y secundaria, hidrolizándola a unidades de celobiosa o glucosa liberando los compuestos asociados a esta. Sin embargo, por su naturaleza hidrofóbica los carotenoides quedarán atrapados en la fase de retenido durante el proceso.

Las complejas interacciones existentes entre las membranas de separación y los diferentes elementos dispersos en el jugo, así como las condiciones de procesamiento durante la clarificación, son de suma importancia para la obtención de jugos de alta calidad sensorial y nutricional. El objetivo del presente manuscrito es discutir el estado del arte de las diferentes experiencias de la mejora de la calidad de jugos de frutas aplicando procesos de microfiltración.

TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS

Los métodos de procesamiento por membranas se basan en la separación de componentes de un fluido, presurizándolo a través de un medio filtrante selectivo. El tamaño de los poros puede llegar a ser tan pequeño que se requiere de una considerable presión para hacer pasar el líquido a través de la membrana. Según Pabby *et al.*, (2009) estos procesos son altamente eficientes debido a que un cambio de estado no está involucrado durante el proceso de transferencia de masa; lo cual representa una ventaja, ya que elimina el uso de equipos generadores de calor, debido a que el proceso se puede realizar a temperatura ambiente.

Esta tecnología forma parte de los métodos de procesamiento no térmicos, los cuales pueden ser empleados para concentrar, fraccionar o purificar líquidos, donde sus componentes son separados selectivamente sin sufrir alteraciones químicas ni físicas (Sablani, 2007). Durante el proceso un líquido entra en contacto con el medio filtrante a través de una fuerza impulsora (presión hidráulica); lo que origina que algunos de sus componentes no logren atravesarlo (retenido) permitiendo el paso de otros compuestos (permeado). Este efecto se debe al tamaño de partícula de los sólidos suspendidos del producto además de su afinidad por la membrana de separación (Girard y Fukumoto, 2000).

Los procesos basados en membranas suelen clasificarse según el tamaño de los solutos que son capaces de separar. Como se mencionó anteriormente, los componentes del fluido alimentado pueden ser separados selectivamente según su tamaño o peso de la partícula de interés, basándose en el tamaño del poro de la membrana a ser utilizada. Es de esperarse que mientras más pequeño sea el tamaño de poro, mayor será la presión para llevar a cabo el proceso, debido a la fuerza necesaria para forzar el fluido a pasar a través de ésta. La figura 1 resume el tamaño de poro empleado en las diferentes membranas de separación y los rangos de presión empleado en cada proceso.

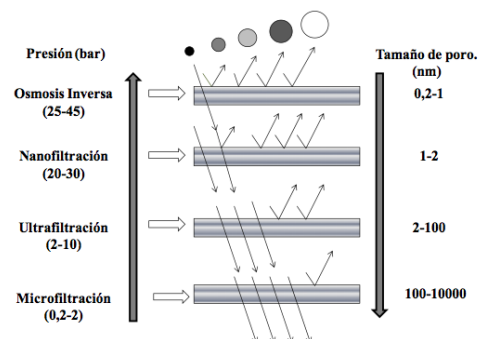


Figura 1. Presión y tamaño de poro empleado en procesos de membranas

Según Salas (2003), Bánvölgyi *et al.*, (2009), Acosta *et al.*, (2010) y Vaillant (2011), el grado de interacción entre los compuestos insolubles presentes en el jugo y la membrana, dependen de su naturaleza química, lo cual contribuye a la obstrucción de los poros del medio filtrante; fenómeno conocido como colmatación. Estas interacciones pueden ser de carácter físico o químico en la que se puede establecer una relación directa sólido- membrana, o indirecta por la interacción sólido-sólido que implica la formación de partículas más complejas contribuyendo a la obstrucción temprana del filtro.

En la tabla 1 se resumen los diferentes compuestos que generalmente se encuentran en los jugos de frutas y su contribución al colmataje de la membrana en función a su grado de interacción. Como se puede observar, los sólidos coloidales así como las fibras de celulosa y hemicelulosa, al igual que los compuestos pécticos, ejercen una interacción física con la membrana contribuyendo notablemente a la colmatación de la misma. Según Hakimzadeh *et al.*, (2006) el mecanismo de interacción consiste en la deposición física directa de estos sólidos en la superficie y entre los poros de la membrana, sin embargo existe otro tipo de interacciones producidas por la formación de partículas más complejas, derivadas de la interacción química de los compuestos del jugo. Entre ellas podemos mencionar a las fracciones de proteínas y minerales, los cuales en presencia de taninos, pueden favorecer la formación de macromoléculas, las cuales contribuyen de manera importante en la obstrucción de la membrana con la consecuente reducción del flujo de filtrado.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, el mecanismo de transferencia de masa en los procesos de separación por membranas estará determinado principalmente por las condiciones de operación del proceso, las características físicas y químicas del medio filtrante, así como las del líquido a procesar.

RESISTENCIAS AL TRANSPORTE DE MASA EN PROCESOS DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

Durante los procesos de separación por membranas existen cinco tipos de resistencias al flujo de permeado generalmente aceptadas. Según Rayess, (2011) éstas se pueden clasificar en:

1.-) Resistencia por bloqueo de poros (Rp): Consiste en la obstrucción física producida por partículas coloidales del fluido de alimentación, con un tamaño igual o ligeramente superior al diámetro del poro de la membrana.

Tabla 1. Compuestos colmatantes presentes en los jugos de frutas

Compuestos colmatantes	Contribución al colmataje		
	Interacción física	Interacción química	Interacción química entre compuestos
Azúcares.	No	No	Indirecta formación de gel
Ácidos orgánicos	No	No	Indirecta formación de gel
Fibras de celulosa o hemicelulosa	Importante	No	No
Almidón	Factible	No	No
Taninos, polifenoles	No	No	En presencia de proteínas
Coloides	Importante	No	No
Minerales	No	No	Indirecta (gel péctico)
Proteínas	No	Si	En presencia de taninos
Compuestos pécticos	Importante	No	No

Fuente: Adaptado de Vaillant (2011); Acosta *et al.*, (2010) y Bánvölgyi *et al.*, (2009)

2.-) Resistencia por adsorción (Ra): Se fundamenta en la acumulación de partículas muy pequeñas en el borde de los canales de los poros de la membrana los cuales restringen el paso del fluido. Se asocia principalmente a fenómenos de acumulación física por las altas presiones de trabajo aunque también se considera que pudiera intervenir algún tipo de interacción química entre la membrana y los componentes del fluido, dependiendo del material de la membrana.

3.-) Resistencia de la membrana (Rm): Consiste en la resistencia propia que ejerce la membrana al paso de un fluido a través de ella. Esta resistencia varía de acuerdo al tamaño del poro, material y condiciones de trabajo, y en general viene expresado en unidades de flujo de agua esperado por área y presión aplicada (L/h.m².bar).

4.-) Resistencia por formación de capa gel (Rg): La capa de gel es la denominación que se la atribuye a la formación de una capa producto de la acumulación de partículas en

la superficie de la membrana, impidiendo el contacto directo entre esta y el fluido Yazdanshenas *et al.*, (2010). Durante el proceso, algunas moléculas pueden formar un gel compresible, el cual a altas presiones puede aumentar considerablemente su resistencia debido a que la membrana permite el paso selectivo de algunos de los componentes del fluido de alimentación, lo que ocasiona que el retenido sea enriquecido con uno o más elementos, produciéndose la acumulación de los mismos.

5.-) Resistencia por concentración de polarización (Rcp): Uno de los fenómenos más comunes que producen la disminución del flujo de permeado consiste en la formación de una “capa límite” sobre la superficie de la membrana. Esta capa está formada por la elevada concentración de sólidos retenidos, los cuales empiezan a perder solubilidad y aportan una considerable resistencia. La diferencia de concentración de solutos entre la superficie de la membrana y el seno del líquido crea una fuerza de difusión, contraria al proceso de separación; es decir, se crea una diferencia de presión osmótica entre la superficie de la membrana (rica en compuestos retenidos) y la corriente de alimentación. Este fenómeno se presenta principalmente cuando se han realizado procesos de separación por mucho tiempo y donde no se ha retirado la corriente de retenido (Vaillant,(2011).

El tipo de membrana no influye directamente en la formación de la capa límite, sino que se relaciona directamente con los componentes presentes en la corriente de alimentación que pudieran producir dicho efecto.

MICROFILTRACIÓN EN EL PROCESAMIENTO DE JUGOS DE FRUTAS

La normativa de calidad venezolana Covenin 1030-95 define el jugo como “El producto líquido fermentable pero sin fermentar, obtenido por procesos mecánicos o enzimáticos, a partir de frutas y/o vegetales maduros, sanos y limpios, previsto para el consumo directo”. El jugo se pudo haber concentrado y luego reconstituido con agua conveniente, con el fin de mantener los factores esenciales de la composición y de calidad. En otras palabras, se puede definir como el contenido fluido extraíble de las células de los frutos Cassano *et al.*, (2007). Por su parte, los jugos clarificados son sometidos a una serie de procesos destinados a la eliminación de los sólidos insolubles presentes en suspensión, consiguiendo la transparencia y la homogeneidad característica de este tipo de productos.

La aplicación de los procesos de microfiltración (MF) en el procesamiento de jugos de frutas está dirigida principalmente a la obtención de jugos clarificados donde la

transparencia y la homogeneidad constituyen dos factores de calidad esenciales. La principal ventaja que presentan los jugos procesados es la de conservar los sabores originales característicos de la materia prima, debido a que no sufren ningún tratamiento térmico. Por medio de estos procesos se pueden eliminar numerosas etapas aplicadas en los esquemas tecnológicos tradicionales en la elaboración de jugos como la centrifugación, decantación, filtración frontal y pasteurización, generando los mismos resultados y reduciendo el tiempo de proceso Echavarría *et al.*, (2012). En cuanto a las características microbiológicas de los productos obtenidos, Carneiro *et al.*, (2002) han reportado que el proceso de microfiltración garantiza la esterilidad comercial del producto obtenido, siempre y cuando se empleen membranas cuyos tamaños de poros sean iguales o menores a 0,2 μm ; esto implicaría un ahorro energético considerable con respecto a la pasteurización y evitaría las pérdidas en compuestos termo-sensibles, compuestos aromáticos y nutricionales que normalmente están presentes en los jugos.

Pandolfi (2008) señala que la diferencia básica entre la microfiltración y otros procesos de separación por membranas es que el primero se emplea en la separación sólido-líquido, para el procesamiento de suspensiones y no en moléculas disueltas en medios homogéneos. Para este último caso generalmente se emplean procesos integrados para concentrar o separar partículas más pequeñas como la ultra y nano filtración.

Los procesos de microfiltración que se han empleado con éxito en la clarificación de jugos de diferentes frutas son: Manzana: (Debruijn y Bórquez,(2006); Gökmen y Çetinkaya,(2007) y Onsekizoglu *et al.*,(2010). Banano (Salas,(2003). Melón (Chaverry, 2003)y Vaillant *et al.*,(2005). Piña Carneiro *et al.*, (2002) y Laorko *et al.*, (2010). Maracuyá (Silva *et al.*, 2005), entre otros. Por otra parte, Esquivel, (2009) estudió el efecto de la microfiltración tangencial sobre el contenido de antioxidantes en jugo pulposo de noni, reportando que el jugo clarificado no presentó cambios significativos en el contenido de antocianinas y polifenoles totales, conservándose el 96% y el 94% de estos micronutrientes, respectivamente. En general el caudal de permeado obtenido depende de las condiciones de operación aplicadas en el proceso, las características de la fruta, tipo de membrana utilizada, entre otras. Algunos parámetros de operación aplicados en jugos de frutas de observan en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de operación en procesos de MF y UF en el procesamiento de jugos de frutas clarificados

Fruto	Condiciones de operación.	Flujo promedio (L.h ⁻¹ .m ⁻²)	Referencia
Piña	$\Delta P = 0,7$ Bar $T = 25^{\circ}\text{C}$ $V = 3,4$ m.s ⁻¹	50 – 30	Laorko <i>et al.</i> , (2010)
Kiwi	$\Delta P = 0,65$ Bar $T = 30^{\circ}\text{C}$ $V = 933$ ml.min ⁻¹	70 – 17,5	Cassano <i>et al.</i> , (2008)
Toronja	$\Delta P = 0,85$ bar $T = 15-25^{\circ}\text{C}$	26 – 18	Cassano <i>et al.</i> , (2007)
Limón	$\Delta P = 1$ bar $T = 20^{\circ}\text{C}$ $V = 1$ m.s ⁻¹	40 – 20	Espamer <i>et al.</i> , (2006)
Tamarindo	$\Delta P = 1,1$ bar $T = 35^{\circ}\text{C}$ $V = 6$ m.s ⁻¹	160 – 110	Watanabe <i>et al.</i> , (2006)
Maracuyá	$\Delta P = 1,5$ bar $T = 25^{\circ}\text{C}$	60 – 25	Silva <i>et al.</i> , (2005)
Mora	$\Delta P = 1,5$ bar $T = 30^{\circ}\text{C}$ $V = 7$ m.s ⁻¹	70	Vaillant <i>et al.</i> , (2001)
Mango		60	
Pina		70	
Mandarina		50	
Naranja		88	
Coco		150	

ΔP : Presión transmembrana, T: Temperatura de operación, V: Velocidad de flujo de alimentación, A: Área de filtración

PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE MF EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGOS

Pre tratamiento enzimático

Por lo general los jugos de frutas a microfiltrar reciben un tratamiento enzimático previo. Según Pinelo *et al.*, (2010) las enzimas generalmente utilizadas en el pre tratamiento de jugos de frutas son las pectinasas, las cuales son responsables de la disminución del rendimiento del proceso; ya que al acumularse en la superficie de la membrana provocan una reducción significativa del flujo del permeado. Las pectinas también tienen la capacidad de formar geles cuando se presenta la polarización por concentración. Según Vaillant *et al.*, (1999), con el tratamiento enzimático previo las pectinas de baja masa molecular pierden su capacidad de formar geles y además reducen la viscosidad del jugo, lo cual facilita su bombeo y penetración a través de la membrana.

Cassano *et al.*, (2008) realizó pre tratamientos de despectinización en jugo de kiwi empleando pectinasa a razón de 10g/ kg de pulpa durante 4 hrs a temperatura ambiente, con una prefiltración con malla de nylon. El extracto obtenido consistió en un jugo parcialmente clarificado que previno la colmatación temprana de la membrana. Del mismo modo Echavarría *et al.*, (2012) aplicó tratamientos enzimáticos en manzana, pera y durazno a 50°C en una concentración de 150 ppm. Debido a la compleja variedad de compuestos insolubles presentes en los jugos sin procesar, algunos investigadores han decidido emplear mezclas de preparado enzimático para disminuir la presencia de estos sólidos en suspensión, es así como Silva *et al.*, (2005) aplicó un tratamiento enzimático a base de pectinasa (150 ppm), celulasa (300 ppm) y α amilasa (40 ppm) a 30°C por 60 min, durante la clarificación previa de pulpa de maracuyá.

Velocidad tangencial (U)

Consiste en la velocidad lineal promedio del fluido de alimentación, paralelo al medio filtrante. Esta variable tiene gran influencia en el proceso ya que ocasiona un aumento en la turbulencia del fluido, lo cual produce un efecto de arrastre sobre las partículas depositadas sobre la membrana y con ello una menor acumulación de materiales. La velocidad del flujo durante el procesamiento está limitada por la capacidad de bombeo del equipo y el costo energético que esto implica.

Estudios realizados por Vaillant *et al.*, (2005) indican que una velocidad de flujo de 7 m.s⁻¹ es un valor apropiado para realizar este tipo de procesos, tomando en consideración los aspectos técnicos y económicos.

Temperatura

La temperatura posee un efecto directamente proporcional respecto al flujo de permeado. Esto ocurre debido a que los zumos de frutas disminuyen su viscosidad con el aumento de la temperatura. El límite máximo de temperatura a utilizar en jugos de frutas está determinado por su efecto en la calidad nutricional y sensorial del producto final Alkhudhiri *et al.*, (2012).

Presión Transmembranaria (Ptm)

Se define como la presión que empuja al fluido a través de la membrana. Se calcula como diferencia de presión que existe a ambos lados de la membrana (entrada y salida) menos la presión del permeado (ver ecuación 1). El aporte de la presión atmosférica al sistema posee un valor muy

cercano a cero, por lo que generalmente es ignorado (Girard *et al.*, (2000).

$$P_{tm} = \frac{(P_e + P_s)}{2} - P_p \quad (1)$$

Donde, P_e corresponde a la presión en la entrada de alimentación a la membrana, P_s corresponde a la presión en la salida del retenido y P_p es la presión del permeado. La influencia de la presión transmembranaria sobre el flujo es compleja y depende de las características de la materia prima Vaillant *et al.*, (2005).

Factor de reducción volumétrica (FRV)

Se define como la relación existente entre el volumen total alimentado al sistema (V_a) y el volumen total retenido (V_r) como se indica en la ecuación 2 (Sablani, 2007). El volumen de permeado se indica como V_p .

$$FRV = \frac{V_a}{V_r} = \frac{(V_p + V_r)}{V_r} \quad (2)$$

El FRV es inversamente proporcional al flujo de permeado, ya que conforme el tiempo pasa, el volumen alimentado aumenta con lo que se incrementa la concentración de sólidos dentro del sistema, los cuales contribuyen a la disminución del flujo de permeado por el colmataje de la membrana, el bloqueo de los poros y el incremento de la viscosidad del jugo Carneiro *et al.*, (2002). El FRV es un indicador de la viabilidad industrial del proceso, ya que permite estimar el rendimiento del retenido y del permeado. Es de esperar un valor de FRV alto, ya que indicaría un mayor rendimiento de permeado.

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_p}{V_a} = 1 - \frac{1}{FRV} \quad (3)$$

En la práctica industrial es deseable que estos procesos sean continuos y que las condiciones operacionales sean constantes a lo largo del tiempo. Según Ramírez *et al.*, (2011), en MF para mantener un flujo de permeado (J_p) constante se debe mantener el FRV fijo, lo cual se logra retirando una cantidad de retenido en intervalos regulares de tiempo. El flujo de retenido (J_r) a remover se obtiene aplicando la ecuación 4:

$$J_r = \frac{J_p}{FRV - 1} \quad (4)$$

Por lo tanto, se pueden desarrollar estrategias para la elaboración industrial de jugos de frutas clarificados balanceando los costos operacionales y seleccionando un

valor de FRV que minimice los costos de producción y maximice los beneficios en términos de la cantidad de jugo aprovechable.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS PILOTO DE MICROFILTRACIÓN EN EL PROCESAMIENTO DE JUGOS DE FRUTAS

Los equipos de microfiltración empleados en la industria poseen diferentes diseños, sin embargo están constituidos por cinco partes fundamentales (ver figura 2).

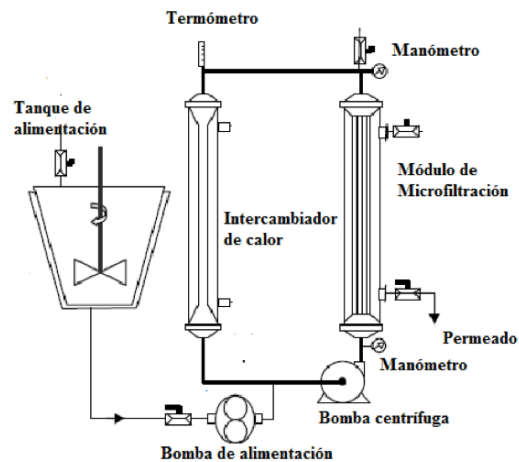


Figura 2. Esquema de equipo de microfiltración tangencial

Las características de cada unidad se describen a continuación:

- 1.- Bomba de alimentación: De desplazamiento positivo o neumática sanitaria de diafragma, la cual se encarga de mantener un flujo constante de alimentación del jugo a procesar, así como de conservar las condiciones de presión dentro del sistema.
- 2.- Bomba centrífuga o de recirculación sanitaria: Con ella se controla la velocidad del flujo dentro del sistema ejerciendo el efecto de arrastre de las partículas que pudieran depositarse sobre la membrana.
- 3.- Modulo de separación: Consiste en una estructura tubular en la cual estará contenida la membrana, dispuesta de forma paralela al flujo del producto. En ella se realiza el proceso de separación produciendo las corrientes de permeado y retenido.
- 4.- Intercambiador de calor de tubo y coraza: Con él se controla la temperatura del producto dentro del sistema.

5.- Tanque de alimentación: Sirve de medio de alimentación al sistema, y se emplea para realizar las operaciones preliminares de enzimación y mantener los sólidos en suspensión.

EFEECTO DE LA MF SOBRE LOS PRINCIPALES ATRIBUTOS DE CALIDAD EN JUGOS DE FRUTAS

Calidad microbiológica de jugos de fruta microfiltrados

La eliminación parcial o total de microorganismos no depende de la temperatura durante la filtración, pero sí del tamaño de los poros de la membrana. La eliminación total de bacterias y esporas, a excepción de los virus, se puede lograr por MF siempre y cuando sean procesados con membranas con un tamaño de poro uniforme no mayor de 0,2 micras (ver tabla 3). Para un tamaño de poro mayor (entre 0,5 y 0,25 micras), los niveles de microorganismos se reducen notablemente, en la pasteurización Cissé *et al.* (2011a). Sin embargo, los jugos que han sido sometidos a MF, con un tamaño de poro $\leq 0,2 \mu\text{m}$, aún requieren el mismo cuidado en la preservación de la esterilidad aguas abajo, tales como el envasado aséptico. Si la esterilidad no se puede conservar, la aplicación de buenas prácticas de manufactura puede ser suficiente para mantener los niveles de microorganismos adecuadamente reducidos para proporcionar una vida útil más larga.

Ensayos de microfiltración realizados en jugo de Arazá Ramírez *et al.*, (2011); Kiwi Mondal *et al.*, (2011); y Acerola Matta *et al.*, (2004) con membranas de un tamaño de poro menor o igual a $0,45 \mu\text{m}$ han indicado recuentos de microorganismos menores a 11 UFC/mL en el jugo. Así mismo, estudios de vida útil aplicados a estos jugos muestran una estabilidad microbiológica de hasta 25 días bajo condiciones de refrigeración.

Características sensoriales

Los procesos de separación por MF se llevan a cabo a temperatura ambiente. En estas condiciones, el jugo clarificado obtenido presenta una alta calidad sensorial debido a que se evitan pérdidas de componentes volátiles, conservando sus características sensoriales similares a las del jugo fresco. En general, todas las moléculas no retenidas por la membrana, se encontrarán aproximadamente en la misma concentración, tanto en el jugo microfiltrado, como en el jugo inicial. Esto se cumple para los azúcares, ácidos orgánicos, y algunos compuestos responsables de las características de sabor- olor del producto.

La evaluación de las características sensoriales de jugos

de frutas procesados por microfiltración y ultrafiltración ha sido estudiada por Silva *et al.*, (2005). Los autores realizaron evaluaciones de aceptabilidad de jugo de maracuyá microfiltrado mediante escala hedónica de siete puntos, aplicado a 100 personas, donde el 85% de los encuestados calificaron el jugo con la opción “me gusta mucho”. Adicionalmente señalaron que la intensidad del sabor resultaba más fuerte, en comparación con otros jugos sin procesar. Por su parte Matta *et al.*, (2004) realizaron pruebas de aceptabilidad con jugo de acerola microfiltrado y concluyeron que el 84% de las personas consultadas aceptó el producto; además, señalaron que el jugo desarrolló una coloración roja intensa, producto de la distribución de los pigmentos naturales en las corrientes de permeado y retenido.

Tabla 3. Características microbiológicas de jugos de fruta microfiltrados

Materia Prima	Tipo de membrana/Calidad microbiológica del jugo	Referencia
Flor de Jamaica	Cerámica tubular $0,2 \mu\text{m}$. / Tres meses de vida útil bajo condiciones de refrigeración. Flora inicial 2×10^3 UFC/ml Flora permeado <30 UFC/ml	Cissé <i>et al.</i> , (2011)b
Arazá	Polipropileno tubular $0,2 \mu\text{m}$ / Cumple con parámetros de comercialización microbiológicos	Ramírez <i>et al.</i> , (2011)
Melón	Cerámica tubular $0,2 \mu\text{m}$ / Flora inicial $3,5 \times 10^4$ UFC/ml Flora permeado <30 UFC/ml Flora retenido 3×10^3 UFC/ml	Vaillant <i>et al.</i> , (2005)
Acerola	Poliethersulfona $0,3 \mu\text{m}$ / Flora inicial $7,9 \times 10^2$ UFC/ml Flora permeado <10 UFC/ml Flora retenido 6×10^2 UFC/ml	Matta <i>et al.</i> ,(2004)
Piña	Poliethersulfona $0,3 \mu\text{m}$. Jugo MF con <10 UFC/ml luego de 28 días de almacenamiento a 8°C .	Carneiro <i>et al.</i> , (2002)
Manzana	Poliethersulfona $0,2 \mu\text{m}$. Vida útil de 2 meses a 4°C de almacenamiento	Pereira <i>et al.</i> , (2002)

El incremento en las características de sabor y aroma en jugos microfiltrados también es obtenido en jugos clarificados de piña. Carneiro *et al.*, (2002) han concluido que los valores de pH, acidez y sólidos solubles son iguales en jugos antes y después de la microfiltración; pero, a pesar de esto, los consumidores prefieren el jugo clarificado por sus colores atractivos y aromas más acentuados. Por otra parte Cliff (2000) realizó ensayos de micro y

ultrafiltración en jugo de manzana empleando membranas de 0,2 y 0,02 μ m; el investigador concluyó que los zumos procesados con membranas de tamaño de poro menor o igual a 0,02 μ m difieren en el color y aroma de los que son microfiltrados con membranas con poro de mayor tamaño; del mismo modo indica que los jugos procesados a 0,2 μ m, carecen de sabor caramelo, característico de los jugos pasteurizados comunes tal como lo resumen la tabla 4.

Tabla 4. Efecto de la MF y UF en los atributos sensoriales en algunos jugos de frutas

Jugo de Fruta	Calidad Sensorial/ Principales compuestos presentes	Referencia
Piña	Aroma y sabor fresco y color brillante/ Azúcares, ácidos y fenoles.	Laorko <i>et al.</i> , (2010)
Mora	Aroma y sabor fresco y color brillante	Soto <i>et al.</i> , (2010)
Granada	Sabor fresco y color brillante/ Vit C, azúcares y ácidos	Mirsaeedghazi <i>et al.</i> , (2010)
Noni	Aroma concentrado/ Compuestos Fenólicos	Esquivel <i>et al.</i> , (2009)
Naranja	Pobre en aroma/ Vitamina C	Olivero <i>et al.</i> , (2006)
Uvilla	Aroma y sabor Fresco/ azúcares y ácidos.	Bodillo <i>et al.</i> , (2005)
Parchita	Aroma y sabor acentuado	Silva <i>et al.</i> , (2005)
Agua de coco	Mejora en el aroma/ Minerales	Vaillant <i>et al.</i> , (2001)

En cuanto a los compuestos responsables del aroma y sabor de los jugos Vaillant y Decloux (2000) han señalado que los compuestos más hidrofílicos oxigenados son los más volátiles, y por lo tanto más termosensibles. Estos compuestos determinan el sabor y aroma del jugo recién exprimido. Esta particular característica ha propiciado el desarrollo de nuevas metodologías de procesamiento para la obtención de jugos pulposos con calidad aromática superior; los cuales consisten en recuperar el retenido, tratarlo térmicamente y posteriormente mezclarlo con el permeado, homogenizarlo y envasarlo en condiciones asépticas.

Este jugo se obtiene generalmente de mayor calidad, ya que conserva las notas aromáticas procedentes del permeado que no ha sufrido tratamiento térmico. Este proceso es particularmente interesante para el jugo de frutas pulposas como el mango, cuyo aroma particular, se debe a compuestos terpénicos. Además, el contenido de sólidos en suspensión

de jugo de pulpa obtenida puede ser estandarizado.

Calidad nutricional

Como se menciona en el apartado anterior, los compuestos solubles en agua no están asociados con los sólidos de la fruta y por lo general, pasan fácilmente a través de la membrana. En contraste, los compuestos hidrofóbicos, asociados con sólidos insolubles o dispuestos en forma de gotas de emulsión, se retienen total o parcialmente (ver tabla 5). En consecuencia, las vitaminas solubles en agua y la mayoría de los compuestos fenólicos se encuentran en el jugo clarificado, mientras que el retenido será enriquecido en compuestos insolubles como los carotenoides. Por lo tanto, las propiedades nutricionales de ambas corrientes dependerán de su respectiva composición.

Tabla 5. Porcentaje de retención de algunos compuestos usando membranas de 0,2 μ m

Característica	Eficiencia de Retención
Sólidos insolubles suspendidos	100%
Microorganismos	100%
Azúcares y ácidos orgánicos	1%
Acido L-Ascórbico	7%
Micronutrientes	
Compuestos fenólicos	1%
Antocianinas	1%
Betacianinas y elagitaninos	1%
Carotenoides	90%
Compuestos aromáticos	
Esteres, alcoholes y aldehídos	10%
Ácidos volátiles	10%
Terpenol	≈18%
Hidrocarburos terpénicos	≈40%

Elaborado a partir de Courel *et al.*, (2001); Cisse *et al.*, (2005); Vaillant *et al.*, (2005) y Vaillant *et al.*, (2011).

En un jugo de frutas, cuya capacidad antioxidante se deba principalmente a los compuestos fenólicos y vitamina C, estos se conservarán en su mayoría en el jugo clarificado, pero si se debe a los carotenoides, se concentrarán en el retenido. Según el tipo de fruta, ya sea el permeado o retenido, o en ocasiones ambos, se destinarán como productos con valor agregado.

CONCLUSIONES

El procesamiento de jugos de frutas mediante tecnología de membranas, permite el fraccionamiento de la corriente de alimentación en sus diferentes componentes, sin la aplicación de tratamientos térmicos. Esta particular característica constituye una ventaja en comparación a otras tecnologías de procesamiento convencionales, ya que permite conservar la mayoría de los compuestos termosensibles presentes en la materia prima. Los procesos de microfiltración han sido aplicados con éxito en la producción de jugos de frutas clarificados, cuya principal característica consiste en la obtención de productos de color llamativo, con aroma y sabor agradable y sin modificación de sus propiedades nutricionales.

El material de fabricación de las membranas aporta una permeabilidad y selectividad única para diferentes partículas presentes en la solución a filtrar. Basado en esta propiedad, esta tecnología pudiera aplicarse en la extracción y concentración de compuestos bioactivos de productos vegetales, de manera de incorporarlos en matrices alimentarias para el desarrollo de alimentos funcionales o de diseño específico.

REFERENCIAS

- ACOSTA, O., VAILLANT, F., COZZANO, S., MERTZ, S., PÉREZ, A., & CASTRO, M. (2010). Phenolic content and antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus* Schltdl.) during three edible maturity stages. *Food Chemistry*, 119, 1497–1501.
- ALKHUDHRI, A., DARWISH, N., & HILAL, N. (2012). Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, 2-18.
- BÁNVÖLGYI, S., HORVÁTH, S., STEFANOVITS-BÁNYAI, E., BÉKÁSSY-MOLNÁR, E., & VATAI, G. (2009). Integrated membrane process for blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice concentration. *Desalination*, 241(1-3), 281-287.
- BODILLO, M. (2005). Optimización de los parámetros de operación para la obtención de jugo clarificado de Uvilla empleando microfiltración tangencial. Escuela Politécnica Nacional.
- CARNEIRO, L., DOS SANTOS, I., DOS SANTOS, F., MARTINS, V., & CORREA, L. (2002). Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration. *Desalination*, 148, 93-98.
- CASSANO, A., DONATO, L., CONIDI, C., & DRIOLI, E. (2008). Recovery of bioactive compounds in kiwifruit juice by ultrafiltration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 556-562.
- CASSANO, A., MARCHIO, M., & DRIOLI, E. (2007). Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. *Desalination*, 212(1-3), 15-27.
- CISSÉ, M., VAILLANT, F., BOUQUET, S., PALLET, D., LUTIN, F., REYNES, M., *ET AL.* (2011a). Athermal concentration by osmotic evaporation of roselle extract, apple and grape juices and impact on quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12, 352-360.
- CISSÉ, M., VAILLANT, F., PALLET, D., & DORNIER, M. (2011b). Selecting ultrafiltration and nanofiltration membranes to concentrate anthocyanins from roselle extract (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Food Research International*, 44(9), 2607-2614.
- CISSE, M., VAILLANT, F., PEREZ, A., DORNIER, M., & REYNES, M. (2005). The quality of orange juice processed by coupling crossflow microfiltration and osmotic evaporation. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(1), 105-116.
- CLIFF, M. (2000). Sensory and Physio-chemical Properties of Membrane Filtered Appled Juices. *Journal of Food Quality*, 23, 171-184.
- COUREL, M., TRONEL-PEYROZ, E., RIOS, G., DORNIER, M., & REYNES, M. (2001). The problem of membrane characterization for the process of osmotic distillation. *Desalination*, 140, 15-25.
- CHAVERRY, M. (2003). Elaboración de jugo de Melón clarificado por medio de microfiltración tangencial. Universidad de Costa Rica, San Jose.
- CHODHARI, S., & ANANTHANARAYAN, L. (2007). Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chemistry*, 102(1), 77-81.
- DEBRUIJN, J., & BÓRQUEZ, R. (2006). Analysis of the fouling mechanisms during cross-flow ultrafiltration of apple juice. *LWT - Food Science and Technology*, 39(8), 861-871.
- ECHAVARRÍA, A. P., FALGUERA, V., TORRAS, C., BERDÚN, C., PAGÁN, J., & IBARZ, A. (2012). Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices

- at pilot plant scale. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 189-195.
- ESPAMER, L., PAGLIERO, C., OCHOA, A., & MARCHESI, J. (2006). Clarification of lemon juice using membrane process. *Desalination*, 200(1-3), 565-567.
- ESQUIVEL, Y. (2009). Evaluación del efecto de la microfiltración tangencial sobre las propiedades antioxidantes y el perfil aromático del jugo de noni clarificado pretratado enzimáticamente. Unpublished Tesis de Maestría., Universidad de Costa Rica, San Jose.
- GIRARD, B., FUKUMOTO, L., & KOSEOGU, S. (2000). Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20(2), 109-175.
- GÖKMEN, V., & ÇETINKAYA, O. (2007). Effect of pretreatment with gelatin and bentonite on permeate flux and fouling layer resistance during apple juice ultrafiltration. *Journal of Food Engineering*, 80(1), 300-305.
- HAKIMZADEH, V., RAZAVI, S., PIROOZIFARD, M., & SHAHIDI, M. (2006). The potential of microfiltration and ultrafiltration process in purification of raw sugar beet juice. *Desalination*, 200(1-3), 520-522.
- 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. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 514-521.
- MATTA, V., MORETTI, R., & CABRAL, L. (2004). Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice. *Journal of Food Engineering*, 61, 477-482.
- MIRSAEEDGHAZI, H., EMAM-DJOMEH, Z., MOUSAVI, S., AROUJALIAN, A., & NAVIDBAKSHI, M. (2010). Clarification of pomegranate juice by microfiltration with PVDF membranes. *Desalination*, 264(3), 243-248.
- MONDAL, S., CASSANO, A., TASSELLI, F., & DE, S. (2011). A generalized model for clarification of fruit juice during ultrafiltration under total recycle and batch mode. *Journal of Membrane Science*, 366(1-2), 295-303.
- OLIVERO, R. (2006). Optimización del proceso de clarificación en la elaboración de Vina de Naranja criolla (*Citrus sinensis*). UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ, MAYAGÜEZ, Puerto Rico.
- ONSEKIZOGLU, P., BAHCECI, S., & ACAR, J. (2010). Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: A comparative quality assessment. *Journal of Membrane Science*, 352(1-2), 160-165.
- PABBY, A., RIZVI, S., & SASTRE, A. (2009). Handbook of Membrane Separations. In L. Group (Eds.), *Handbook of Membrane Separations Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*
- PANDOLFI, E. (2008). Aplicación de la tecnología de membranas en el proceso de vinificación., Universidad de Concepcion, Santiago.
- PEREIRA, D., SABINO, A., BLUMENBERG, D., MARTINS, V., COVA, L., & COURID, S. (2002). Cashew apple juice stabilization by microfiltration. *Desalination*, 148, 61-65.
- PINELO, M., ZEUNER, B., & MEYER, A. (2010). Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity. *Food and Bioproducts Processing*, 88(2), 259-265.
- RAMIREZ, A., DE LOS RIOS, D., VELEZ, C., & GALLEGO, H. (2011). Optimization of the crossflow microfiltration of araza juice (*Eugenia stipitata*) under different operation modes. *VITAE*, 18, 153-161.
- RAYESS, Y., ALBASI, C., BACCHIN, C., TAILLANDIER, P., MIETTON-PEUCHOT, M., & DEVATINE, A. (2011). Cross-flow microfiltration of wine: Effect of colloids on critical fouling conditions. *Journal of Membrane Science*, 385-386, 177-186.
- SABLANI, S. (2007). Handbook of Food Preservation. In T. F. Group. (Ed.), *Food preservation and processing using membranes* (pp. 550). New York. USA.
- SALAS, R. (2003). Estudio del proceso de clarificación de jugo de banana mediante microfiltración tangencial. Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica.
- SILVA, T., DELLA, R., PENHA, E., DA MATTA, V., & CORRÊA, L. (2005). Suco de maracujá orgânico processado por microfiltração.

- SOTO, M. (2010). Evaluacion del efecto de tratamientos fisicos acoplados a tratamiento enzimatico sobre las propiedades fisico-quimicas en jugo de mora. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- VAILLANT, F. (2011)a. Fenomenos de Colmatacion de membranas. San Jose.
- VAILLANT, F. (2011)b. Technological innovations, functional foods and tropical fruit juices: opportunities for small and medium scale enterprises in developing countries. In FAO. (Eds.) (Vol. 1)
- VAILLANT, F., CISE, M., CHAVERRI, M., PEREZ, A., DORNIER, M., VIQUEZ, F., *ET AL.* (2005). Clarification and concentration of melon juice using membrane processes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(2), 213-220.
- VAILLANT, F., & DECLoux, M. (2000). Clarification et Concentration des jus de Fruits Tropicaux Pulpeux Associant Traitements Enzymatiques, Microfiltration Tangentielle et Evaporation Osmotique. Unpublished These de Doctorat, ENSIA, Paris, France.
- VAILLANT, F., MILLAN, A., DORNIER, M., DECLoux, M., & REYNES, M. (2001). Strategy for economical optimisation of the clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration. *Journal of Food Engineering* 48, 83-90.
- VAILLANT, F., MILLAN, P., O'BRIEN, P., DORNIER, M., DECLoux, M., & REYNES, M. (1999). Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. *Journal of Food Engineering*, 42(4), 215-224.
- VAILLANT, F., PÉREZ, A., ACOSTA, O., & DORNIER, M. (2008). Turbidity of pulpy fruit juice: A key factor for predicting cross-flow microfiltration performance. *Journal of Membrane Science*, *Journal of Membrane Science*, 404–412.
- WATANABE, A., USHIKUBO, F., & VIOTTO, L. (2006). Evaluation of permeate flux in microfiltration of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice using polypropylene membrane. *Desalination*, 200(1-3), 337-338.
- YAZDANSHENAS, M., TABATABAEE-NEZHAD, S., SOLTANIEH, M., ROOSTAAZAD, R., & KHOSHFETRAT, A. (2010). Contribution of fouling and gel polarization during ultrafiltration of raw apple juice at industrial scale. *Desalination*, 258(1-3), 194-200.

