

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—
PROCESOS
INNOVADORES
**DE OBTENCIÓN
DE ALIMENTOS
FUNCIONALES Y
BIOACTIVOS A PEQUEÑA
Y MEDIANA ESCALA**

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 24

Autor:

Fabrice Vaillant

Consultor francés experto en la temática,
provisto en el marco del contrato con
Eptisa de España.

Noviembre de 2016



INTI



Unión Europea



PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina
Ayacucho 1537
Ciudad de Buenos Aires
Teléfono (54-11) 4805-3759
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919

www.ue-inti.gob.ar

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez
gabriela@inti.gob.ar

—
PROCESOS
INNOVADORES
DE OBTENCION
DE ALIMENTOS
FUNCIONALES Y
BIOACTIVOS A PEQUEÑA
Y MEDIANA ESCALA

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 21

Autor:

Fabrice Vaillant

Consultor francés experto en la temática, provisto
en el marco del contrato con Eptisa de España.

Noviembre de 2016



INTI



Unión Europea

INDICE

1. PRESENTACIÓN	4
2. TENDENCIA ACTUAL DEL MERCADO INTERNACIONAL PARA ALIMENTOS FUNCIONALES E INGREDIENTES BIOACTIVOS.....	6
3. DEFINICIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES Y PRINCIPALES COMPUESTOS BIOACTIVOS	8
4. TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA RESPONDER A LAS EXIGENCIAS DEL MERCADO DE ALIMENTOS FUNCIONAL E INGREDIENTES BIOACTIVOS	10
4.1 Tecnologías de extracción apropiadas a alimentos funcionales e ingredientes bioactivos	12
4.1.1 El prensado, simple pero adecuado	
4.1.2 La flash-explotión	
4.1.3 Extracción de compuestos bioactivos mediante maceración enzimática	
4.2 La microfiltración Tangencial.....	15
4.2.1 Impacto en los principales atributos de calidad	
4.2.2 Viabilidad de la MFT para el procesamiento a pequeña o mediana escala	
4.3 La ultrafiltración y nanofiltración para obtención de extractos bioactivos	21
4.3.1 Comparación UF y NF	
4.3.2 Aplicaciones para obtención de extractos bioactivos	
4.3.3 Viabilidad económica	
5. REFERENCIAS	24

1. PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las miPyMEs del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del gobierno nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las miPyMEs y Pymes los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo a la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las miPyMEs que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantienen entrevistas con actores locales quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de uno de los expertos intervinientes en este proyecto. Cada experto al finalizar su trabajo en el país, elabora un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, editada con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades

detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

Dra. Graciela Muset

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del autor y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión de la Unión Europea.

2. TENDENCIA ACTUAL DEL MERCADO INTERNACIONAL PARA ALIMENTOS FUNCIONALES E INGREDIENTES BIOACTIVOS

A nivel internacional, el mercado de los alimentos procesados está cambiando rápidamente ya que los consumidores están buscando cada vez más alimentos con mayor calidad. Los cambios en los patrones de demanda de consumo se refieren no sólo a la inocuidad, la conveniencia, la calidad sensorial o nutricional, sino también a otros ejes de valor como la calidad funcional, y la ética con que ha sido elaborado el alimento. Estos dos últimos ejes de valor cobran cada vez más importancia y se han vuelto característicos de ciertos nichos de mercado. La demanda por un estilo de vida más saludable y al mismo tiempo sin complicaciones, se expresa a través de la necesidad de consumir productos alimenticios que unen armoniosamente los conceptos de "salud" y "placer". Estos conceptos son la mayor preocupación en el segmento de la población de 35 a 55 años, principalmente mujeres, con poder adquisitivo de medio a alto. Para responder a las demandas específicas de este segmento de la población, nichos de mercado han aparecido en paralelo al mercado de masa. El funcionamiento de estos mercados se basa principalmente en la competencia por la calidad más que por el precio, lo que abre grandes oportunidades para las Pymes.

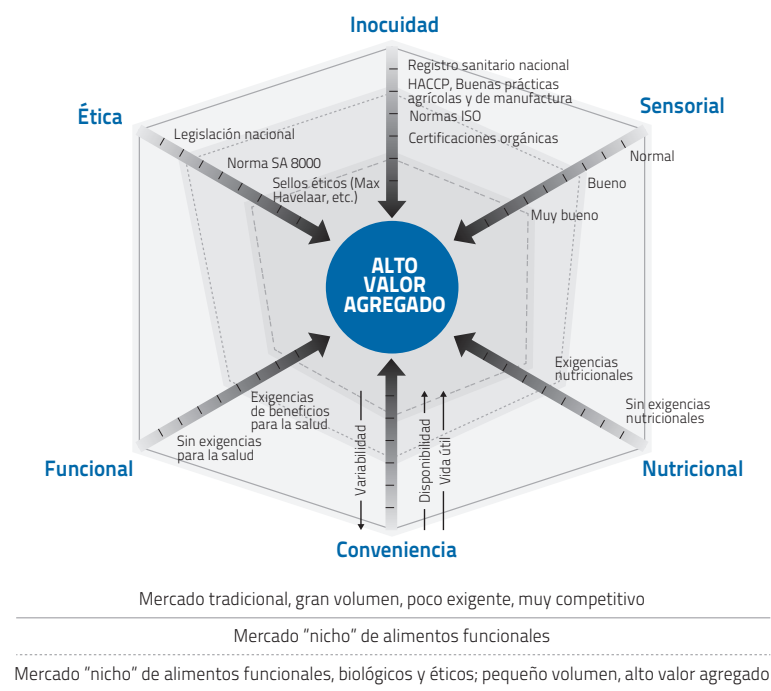


Figura 1: Ejes de valor de los alimentos

En la actualidad, en muchos países, algunos estándares de calidad de los alimentos que solían ser limitados a mercados nichos, se extienden también al mercado global de masa. Las alegaciones de salud florecen en muchos productos alimenticios y esta tendencia refleja las crecientes aspiraciones de todos los consumidores por productos alimenticios más saludables. Esta demanda ha permitido la generación de un mercado importante para ingredientes bioactivos naturales que son añadidos en pequeñas proporciones a los alimentos comunes para aumentar su calidad funcional. Así, el mercado de ingredientes bioactivos naturales está creciendo en forma muy considerable en los últimos años y representa igualmente una nueva oportunidad para las Pymes. Los compuestos bioactivos añadidos al alimento como ingrediente, proceden generalmente de deshechos o co-productos de la industria de los alimentos.

Así, el mercado los alimentos funcionales incluyendo al de los ingredientes bioactivos naturales es emergente y quizás el de más rápido crecimiento en todo el mundo, con un aumento promedio entre 5 y 14% anual (Wire 2014).

Se puede observar en la **figura 1** que la legislación impone niveles mínimos de calidad solamente en dos ejes, la inocuidad y la ética. Respectivamente, se trata de las normas de higiene clásicas y los códigos laborales y ambientales que se aplican en el país. Los otros ejes de valores, son considerados como opcional y cada agro-industria debe posicionar los cursores en cada eje de acuerdo al mercado en el cual se quiere enfocar.

3. DEFINICIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES Y PRINCIPALES COMPUESTOS BIOACTIVOS

No existe una definición universalmente aceptada de los alimentos funcionales. Sin embargo, la definición consensuada por un grupo de reflexión Europeo (FUFOSE 1999) es muy difundida. Dice "un alimento se considera funcional si logra demostrar científicamente que posee efectos beneficiosos para la salud actuando sobre una o más funciones del organismo, más allá de sus propiedades nutricionales habituales, de modo tal que mejore el estado general de salud o reduzca el riesgo de alguna enfermedad o ambas cosas".

Existe un consenso en la comunidad científica de que las dietas no saludables son los principales contribuyentes a las enfermedades, que son las principales causas de mortalidad en los países industrializados como el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y la hipertensión. Con los altos costos para la sociedad, la mejora de las dietas es por consiguiente un objetivo para las autoridades de salud pública en muchos países las cuales deben lanzar campañas para sensibilizar la población reforzando indirectamente el mercado de los alimentos funcionales. Los principales compuestos bioactivos con una fuerte evidencia de sus efectos beneficiosos sobre la salud se presentan en la **Figura 2**, donde se puede observar que las diversas áreas de la salud humana se pueden beneficiar de componentes fitoquímicos que se encuentran naturalmente en los alimentos, principalmente en las frutas y hortalizas.

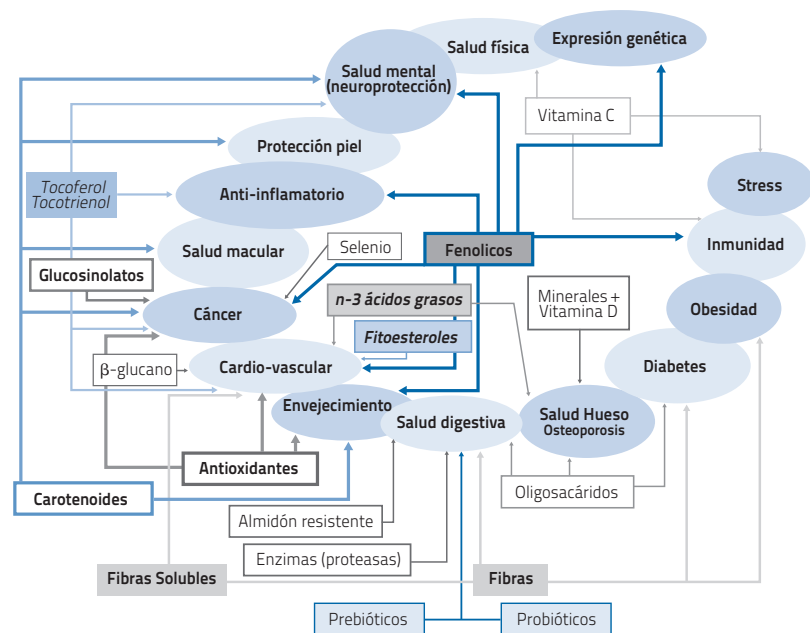


Figura 2: Principales compuestos bioactivos y sus funciones observadas en la salud

Adicionalmente a los conductores externos, un motor esencial del mercado mundial de los alimentos funcionales e ingredientes bioactivos es la innovación de productos para responder a la creciente demanda. De hecho, en la actualidad, muchas compañías de alimentos requieren una amplia gama de ingredientes alimentarios con altas concentraciones de compuestos bioactivos con el fin de aumentar este contenido en los alimentos procesados que luego pueden optar a alegaciones de salud. Todo cultivo que contiene altas concentraciones de un compuesto bioactivo con comprobada funcionalidad, sin duda tiene un alto potencial comercial en el mercado de alimentos funcionales. El término "super fruta" se utiliza actualmente para calificar la fruta que tiene una riqueza nutricional excepcional y alta capacidad antioxidante. En este mercado, la referencia es el arándano (*Vaccinium angustifolium*), que encabeza la lista de las frutas comunes que poseen mayor capacidad antioxidante. Aunque, el poder antioxidante es solo un criterio, muy sobreluado que no refleja la funcionalidad real de un alimento, el arándano es una "super fruta" valorado así por diferentes mercados. Todo alimento a base de arándano se considera como funcional. También, puede ser el caso de los cultivos subutilizados (frutas nativas de la cordillera o de la Patagonia), o incluso los desechos o co-productos agro-industriales (ej. orujo de la industria olivícola y vinícola, cascara de naranjas o pelón de la nuez nogal). Países como la Argentina tienen un enorme potencial para proporcionar alimentos funcionales e ingredientes ricos en componentes bioactivos.

4. TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA RESPONDER A LAS EXIGENCIAS DEL MERCADO DE ALIMENTOS FUNCIONAL E INGREDIENTES BIOACTIVOS

El objetivo del procesamiento es preservar y/o aumentar el nivel en los ejes de valor de un alimento. Una fuerte tendencia en la ciencia y tecnología de los alimentos es prestar atención al impacto de los procesos sobre la calidad. Un primer enfoque consiste en identificar los puntos críticos donde ocurre una disminución de la calidad. Este ejercicio aplicado al proceso tradicional de obtención de un jugo de fruta (tabla 1) demuestra que el procesamiento tradicional no es muy apto para el desarrollo de un alimento funcional y evidencia las principales acciones correctivas así como la necesidad de aplicar procesos más apropiados.

No obstante, los procesos deben también ser apropiados para sus sostenibilidad a nivel de las pequeñas y medianas agro-industrias. Para este fin, las tecnologías deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Deben ser flexibles y modulares. Deben estar disponibles y sostenibles a pequeña o mediana escala y ser capaz de aumentar su capacidad de acuerdo a las necesidades de producción.
- Los costos de equipamiento y explotación deben ser, en lo posible, proporcional a la capacidad de procesamiento.
- Deben ser versátiles y no específicas a un único producto. La mayoría de las pymes no pueden especializarse en un solo cultivo, sino que debe procesar una gran variedad de productos.
- Deben de ser limpias o "verdes" y cumplir, a pequeña o mediana escala, con indicadores de sostenibilidad en cuanto al consumo de energía y protección del medio ambiente, entre otros factores.

Tabla 1: Ejemplo de la degradación de la calidad durante un proceso clásico de producción de un jugo pasteurizado

PROBLEMA	EJE DE VALOR AFECTADO	DIAGRAMA DE FLUJO	ACCIONES CORRECTIVAS
Calidad inicial baja	Sensorial/ nutricional / funcionales	<p>Frutas</p> <p>↓</p> <p>Extracción jugo</p> <p>↓</p> <p>Desaeración</p> <p>↓</p> <p>Pasteurización</p> <p>↓</p> <p>Concentración</p> <p>↓</p> <p>Empaque</p> <p>↓</p> <p>Almacenamiento</p>	Seleccionar mejores frutas
Microorganismos oxidación	Seguridad alimentaria / sensorial sensorial / nutricional / funcional		Extracción de jugo rápida Extraer a baja presión de O2
Enzimas endógenas	Sensorial / nutricional / funcional		Desactivar las enzimas endógenas
Tiempo	Sensorial / nutricional / funcional		
Temperatura	Sensorial / nutricional / funcional		
Eliminación de los compuestos volátiles	Sensorial		Baja temperatura Limitar remoción de volátiles
Alta temperatura	Sensorial / nutricional / funcional		
Destrucción de compuestos termosensibles	Sensorial / nutricional / funcional		Alternativas a tratamiento térmico Tratamiento rápidos
Reacciones de Maillard que afectan el color	Sensorial / funcional		
Microorganismos (esporas) / pH alto	Inocuidad		
Actividad enzimática residual	Sensorial / funcional		
Eliminación o destrucción de compuestos termosensibles	Sensorial / nutricional / funcional		Alternativas atérmicas Tratamientos cortos
Reacciones de Maillard	Sensorial / funcional		
Contaminación por aire oxígeno	Inocuidad Nutricional / funcional		Empaque aséptico Baja presión de O2
Aire/oxígeno	Sensorial / nutricional / funcional		Baja presión de O2 Empaque con alta Barrera

Las siguientes secciones presentan algunas tecnologías que cumplen con la lista de requisitos anteriores demostrando tener el mayor potencial para su aplicación en Pymes para el procesamiento de alimentos funcionales e ingredientes bioactivos.

4.1 TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN APROPIADAS A ALIMENTOS FUNCIONALES E INGREDIENTES BIOACTIVOS

Un equipo de extracción de jugo debe seleccionarse de acuerdo al tipo de fruta, su morfología y localización de la parte comestible. Algunos productos son 100% comestibles, como por ejemplo, las bayas y solo una mayor solubilización de los compuestos del pericarpio (piel o cáscara) es necesaria para aumentar las cualidades nutricionales y funcionales del jugo. Para otras frutas, sin embargo, la extracción de moléculas indeseables debe evitarse, por ejemplo como en el caso de la existencia de compuestos amargos de la cascara. Por consiguiente, para los propósitos de extracción de jugo, las frutas se pueden separar en al menos dos categorías:

- Las frutas que son totalmente comestibles, pero contienen una semilla o semillas de elevada resistencia mecánica, por ejemplo, bayas, la mayoría de las frutas de hueso, frutas de pepita,
- todas las otras frutas que contienen al menos una parte no comestible que debe ser eliminado o que contengan semillas con resistencia mecánica baja.

4.1.1 El prensado, simple pero adecuado

Para la primera categoría, el prensado es a menudo el más adecuado, ya que generalmente se obtiene un extracto de mejor calidad con un bajo contenido de oxígeno disuelto. La hidroprensa (figura 3) muy usada en la industria vitivinícola es un equipo simple, muy fácil de uso y adecuado para obtener jugos o extractos sin oxigenar demasiado.



Figura 3: Hidroprensa para obtención de extractos (costo promedio 500 USD)

Para la segunda categoría, el proceso de extracción se debe adaptar a la morfología de la fruta. Algunos equipos se han desarrollado para las frutas comunes, como los cítricos, piña y fruta de la pasión. Para otras frutas, no existe un equipo específico y el reto es encontrar un procedimiento de extracción lo más versátil posible, dando al mismo tiempo, un jugo de alta calidad. A nivel de Pymes, la separación de las partes no comestibles como cascara o semilla, se puede hacer manualmente y luego se somete las partes comestibles a extracción bajo presión. Cabe recalcar que las despulpadoras de tipo rotatorio con barrido por paletas de una malla tubular es el más extendido en la agro-industria, pero si no se dispone inmediatamente de un desaireador su uso no es recomendado para alimentos funcionales. Este equipo presenta serios inconvenientes como el bajo rendimiento y la fuerte oxigenación del producto.

4.1.2 La flash-explósión

La flash-explósión (FE), también conocida como "termovinificación" en la industria vitivinícola, se ha desarrollado para mejorar la extracción de compuestos bioactivos con un tiempo de extracción muy corto, eliminando el oxígeno disuelto. La tecnología fue desarrollada específicamente para lograr estos objetivos y se utiliza actualmente en la industria vitivinícola a escala industrial para pre-tratar las uvas antes de la fermentación (Geffroy, Lopez et al. 2015). También se utiliza para producir puré de tomate de alta calidad.

Durante el proceso, el producto entero es escaldado con vapor de 60 a 90 ° C y luego es introducido rápidamente en una cámara de vacío (2 a 5 kPa) de un volumen mucho mayor. Las partes del producto que contiene mucha agua literalmente explotan en partículas diminutas a causa de la expansión instantánea del vapor o gas atrapado. Una parte del agua constituyente se evapora instantáneamente, creando micro-canales dentro de los tejidos lo que aumenta la extracción de micronutrientes tales como compuestos fenólicos, carotenoides, pectina entre otros. La vaporización instantánea también se acompaña de un enfriamiento casi instantáneo del puré obtenido lo que limita el tiempo del tratamiento térmico. Se puede modular la temperatura y el vacío de manera que solo la carne del fruto explote y la semilla o cascara que contienen menos agua queden intactos y puedan ser separados luego.

La masa de agua que se evapora durante la flash-explósión depende de:

1. La diferencia de temperatura entre las etapas de calentamiento y de vacío.
2. La presión alcanzada en la cámara de liberación.

Por lo general, alrededor de 10% del agua constituyente se evapora, junto con algunos componentes volátiles, y luego se condensan los vapores para obtener licores aromáticos que pueden ser re-introducidas de nuevo en el puré si se requiere. El impacto en la calidad de los purés obtenido es notable en términos de color, de propiedades reológicas, y el contenido de compuestos bioactivos. Purés obtenidos por flash-explósión son más viscosas y contienen altas cantidades de fibra dietética insoluble y soluble, que los hacen especialmente adecuados como ingredientes en una gran variedad de productos.

Con la flash-explósión, el contenido de compuestos bioactivos en los purés también

se incrementa considerablemente. Para la uva y el jugo de mandarina, los fenoles totales se han incrementado hasta en un 50% (Moutounet y Escudier 2000). El escaldado previo a la flash-explosión, permite desactivar las oxidasas endógenas antes de que entren en contacto con su sustrato. Por lo tanto, la oxidación de los purés se reduce notoriamente. Finalmente, una gran ventaja es el bajo contenido de oxígeno disuelto en los purés, lo que permite evitar el desarrollo de las reacciones en cadena que pueden afectar los compuestos bioactivos.

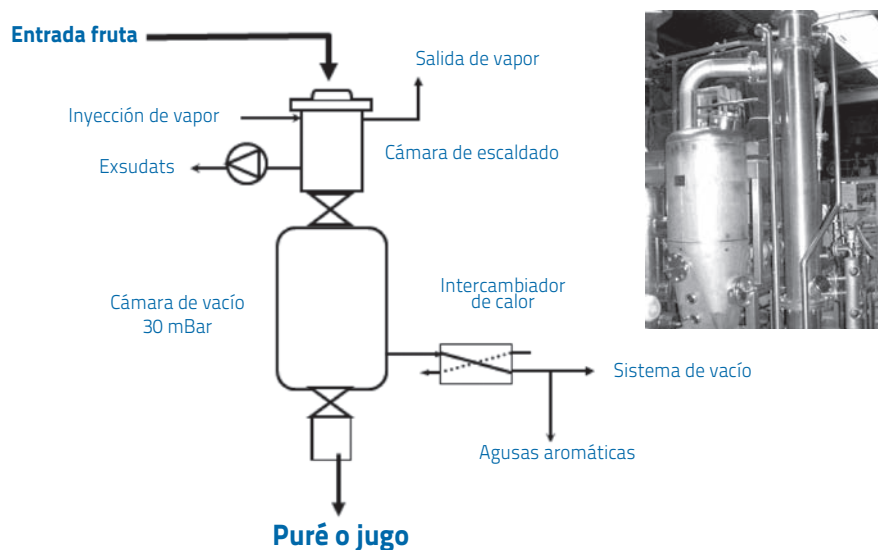


Figura 4: Esquema y foto de un equipo de flash-explosión

La flash-explosión es una tecnología viable a relativamente pequeña escala, y se encuentra en uso en bodegas vitivinícolas en Europa. Aunque el equipo es más caro que un simple extractor de jugo, el precio debe ser comparado con toda la línea de equipo al que sustituye, como un escaldador, un extractor de jugo, un sistema de desgasificación y en ciertos casos a un pasteurizador, y finalmente un enfriador. Adicionalmente, el costo más alto puede ser compensado por un aumento considerable en el rendimiento del puré y la posterior reducción en la eliminación de residuos. Además, la eliminación de casi el 10 por ciento de agua, si no se reintroducen en el jugo, puede ser considerado como una etapa de pre-concentración.

4.1.3 Extracción de compuestos bioactivos mediante maceración enzimática

Los preparados enzimáticos comerciales que contienen pectinasas, celulasas y hemi-celulasas son considerados como auxiliares tecnológicos, y se usan en concentración muy

bajas (generalmente <200 ppm o 200 ml/T de producto), y no son sujetos al etiquetado en el producto final. Los preparados enzimáticos provienen de la fermentación de hongos filamentosos (generalmente *Aspergillus Niger* y *Trichoderma spp*) sobre residuos industriales de la industria de la remolacha. La extracción asistida por enzimas es ampliamente utilizada en las agro-industrias alrededor del mundo para maximizar los rendimientos. El tratamiento enzimático permite la disrupción de las paredes celulares, permitiendo la liberación del jugo y de los componentes bioactivos asociados (Landbo y Meyer 2001, González-Barrio, Trindade et al. 2004). Junto con un tratamiento mecánico, una maceración previa con enzimas permite una mejor extracción de compuestos bioactivos tales como las antocianinas y otros compuestos fenólicos. Así, los jugos de arándano o de uva tienen un color mucho más intenso después de un tratamiento enzimático. La maceración enzimática puede ser aplicada también a residuos y co-productos para extraer compuestos bioactivos.

El uso de enzimas apropiadas por lo tanto puede aumentar la eficiencia de extracción de jugo, facilitar los post-tratamientos, como por ejemplo los procesos de membrana, y pueden mejorar el valor nutricional y funcional de los jugos o extracto. Todo esto se puede hacer a un costo relativamente bajo, lo que hace que el tratamiento enzimático es altamente recomendable para su aplicación en las pymes. De hecho, los procesos catalizados por enzimas tienen requisitos técnicos muy básicos. Se requiere idealmente de una marmita de doble fondo con un agitador ya que la enzimación debe realizarse a temperaturas entre 30 y 50°C. A mayor temperatura, el tiempo de hidrólisis enzimática es más corto pero en muchos casos para no afectar los compuestos bioactivos, las maceraciones enzimáticas son de una hora a 30-35°C. En algunos casos la agitación constante manual (cada 10 minutos) permite evitar la agitación mecánica. El único problema del uso de preparativos enzimáticos es que los vendedores venden volúmenes mínimos que pueden ser muy superiores a las necesidades de unas pymes. Los preparados enzimáticos se conservan a temperatura de refrigeración hasta un año y su costo en el producto final es a menudo despreciable. Es siempre importante convalidar su costo contra los numerosos beneficios que la maceración enzimática puede traer.

4.2 LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL

La microfiltración tangencial (MFT) tiene como objetivo separar los sólidos insolubles en suspensión a partir de diferentes fluidos heterogéneos como jugos o extractos. Es un proceso impulsado por una diferencia de presión entre dos compartimentos separados por una membrana. El fluido corre en paralelo a la superficie de filtración implicando un constante barrido de la membrana para evitar la formación de una torta. Aplicado a jugos o extractos, la MFT permite la separación de dos fracciones: un líquido translúcido (permeado) y una fracción heterogénea que contiene todos los sólidos insolubles (retenido). El retenido contiene los fragmentos de pared celular y las bacterias, esporas, y todo cuerpo, emulsión, cristales, etc. que no son hidrosolubles. Esta propiedad de la MFT le otorga un

alto potencial en la agro-industria para enfrentar diferentes objetivos tecnológicos tales como la clarificación, facilitar tratamientos posteriores, tratar efluentes, concentrar estructuras hidrofóbicas y remover microorganismos (Figura 5).

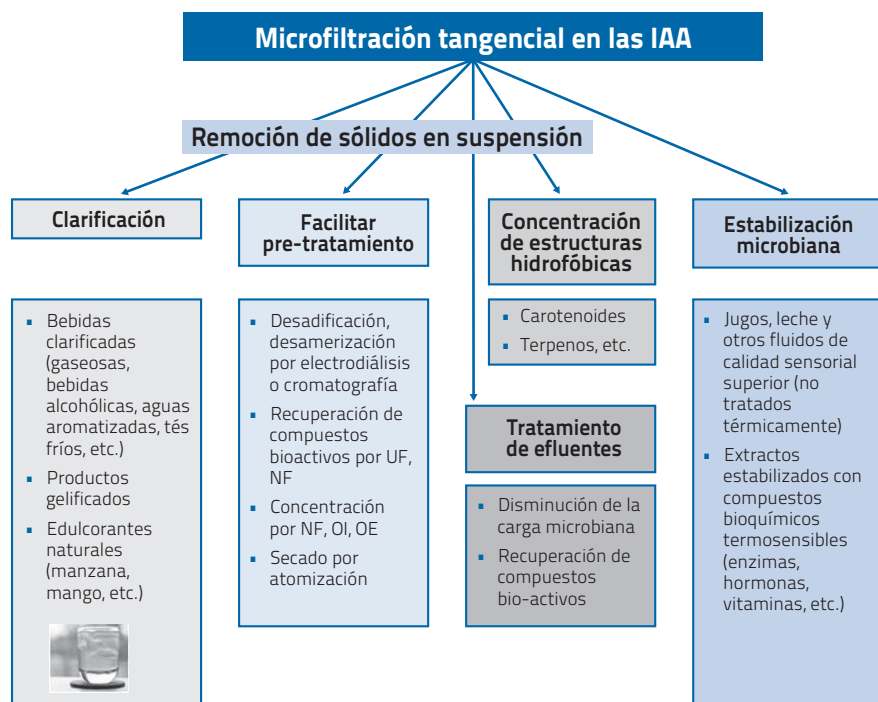


Figura 5: Efectos tecnológicos de la microfiltración tangencial (Siglas: IAA Industrias Agro-Alimentarias, UF Ultrafiltración, NF Nanofiltración, OI Osmosis Inversa, OE Evaporación osmótica)

4.2.1 Impacto en los principales atributos de calidad

Usando una membrana con un diámetro de poro uniforme inferior o igual a 0,2 micras (las bacterias, levaduras y hongos de los alimentos tienen un tamaño superior a 0,45 micras), permite la remoción total de los microorganismos y de sus esporas. Así, el proceso de MFT puede ser equivalente a la esterilización. Para diámetros de poro más grandes (entre 0,5 y 1 micra), la MFT permite reducir notablemente la carga microbiana para alargar la vida útil del retenido. Evidentemente, se requiere en todos los casos realizar el envasado en forma aséptica o "ultra limpio" a la salida del permeado. La eliminación parcial o completa de los microorganismos no depende de la temperatura en MFT, pero solo del diámetro de los poros de la membrana. Por lo tanto, el proceso puede llevarse a cabo a

temperaturas bajas comparado con las temperaturas de pasteurización o esterilización. Si la temperatura es lo suficiente baja, y dependiendo de las características del fluido a microfiltrar, se puede combinar una alta calidad sensorial con una alta calidad microbiológica (Carneiro, Gomes et al. 2002).

En general, todas aquellas moléculas no ligadas a los sólidos retenidos por la membrana se encuentran en aproximadamente las mismas concentraciones en el permeado y en el jugo inicial. En términos usuales se dice que no existe retención por parte de la membrana. Es el caso para los azúcares, ácidos orgánicos, micronutrientes hidrosolubles y la mayoría de los compuestos aromáticos excepto los compuestos volátiles hidrofóbicos de tipo hidrocarburos terpenicos ligado a la parte insoluble.

En efecto, la distribución de los compuestos aromáticos entre el permeado y el retenido varía de acuerdo a su clase química, que determina su afinidad por los sólidos retenidos y por el material de la membrana. Por ejemplo, los compuestos oxigenados más hidrófilos, como los ésteres, alcoholes alifáticos y aldehídos, que no se asocian con fragmentos de pared celular, pasan libremente a través de una membrana de cerámica. En contraste, los compuestos más hidrofóbicos, como los monoterpenos y sesquiterpenos, son parcialmente retenidos. Así, para ciertos jugos como el mango o la naranja, los cuales deben su aroma característico a hidrocarburos terpenicos, el permeado no tendrá las características del jugo inicial, mientras que para el jugo de melón, sandía, mora, arándano, etc., el permeado conservará las características frescas del jugo inicial. La centrifugación produce el mismo efecto que la MFT cuando se logra separar una fracción insoluble de un sobrenadante totalmente translucido, lo que constituye un test simple para prever la calidad sensorial del retenido y el permeado.

Cabe recalcar en este punto, que los compuestos oxigenados más hidrófilos son también los más volátiles y por lo tanto son los más sensibles a los tratamientos térmicos. Por lo general estos compuestos son responsables del aroma "fresco" característico del jugo recién exprimido. Por otro lado, los hidrocarburos terpenicos son los menos volátiles y consecuentemente los más resistentes a altas temperaturas. Ambas observaciones han conducido al desarrollo de un proceso llamado "Fresh note" que consiste en tratar térmicamente sólo el retenido y luego mezclarlo en forma aséptica con el permeado (Figura 6). El jugo resultante si se envasa asépticamente es estable, libre de microorganismos y conserva casi todas las características iniciales de la fruta, incluyendo las notas frescas imposibles de conservar en un jugo clásico totalmente pasteurizado. Así, aunque existe también un mercado para jugos translucidos, el proceso de MFT acoplado a un sistema de pasteurización del retenido, permite producir jugos pulposos de alta calidad.

El color del jugo clarificado también depende de las propiedades de los compuestos bioquímicos implicados en la percepción del color. Si el color característico del jugo es debido a compuestos hidrófilos tales como antocianina o betacianina, el permeado preservará su color original o se volverá hasta más intenso. Será el caso para el jugo de mora, fresa, arándano, remolacha, etc... Cuando, el color se deba a carotenoides, el permeado resultante será más pálido que el jugo inicial debido a la alta retención de estos compuestos en el retenido. Los carotenoides son compuestos hidrofóbicos abultados en estructuras

de tamaño relativamente importante llamado cloroplastos, los cuales son retenidos por la membrana. Esta característica puede ser usada en ciertos procesos para obtener extractos enriquecidos en carotenoides. En este caso es el retenido de la MFT que es valioso y seguido de una centrifugación, se pueden elaborar extractos concentrados en carotenoides para usar como ingredientes bioactivos. Por ejemplo, de esta manera se puede concentrar hasta 50 veces el licopeno a partir de un jugo de sandía.

Así, solo los carotenoides son parcialmente retenidos por la membrana, mientras la mayoría de los compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos, se encuentran en el permeado en las mismas concentraciones que en el jugo inicial (Cisse, Vaillant et al. 2005). Por esta razón, la MFT es muy a menudo una etapa preliminar a los procesos de extracción de los compuestos bioactivos. En la tabla 2, se resumen las diferentes tasas de retención observadas en una membrana de cerámica de 0,2 micras de tamaño de poro.

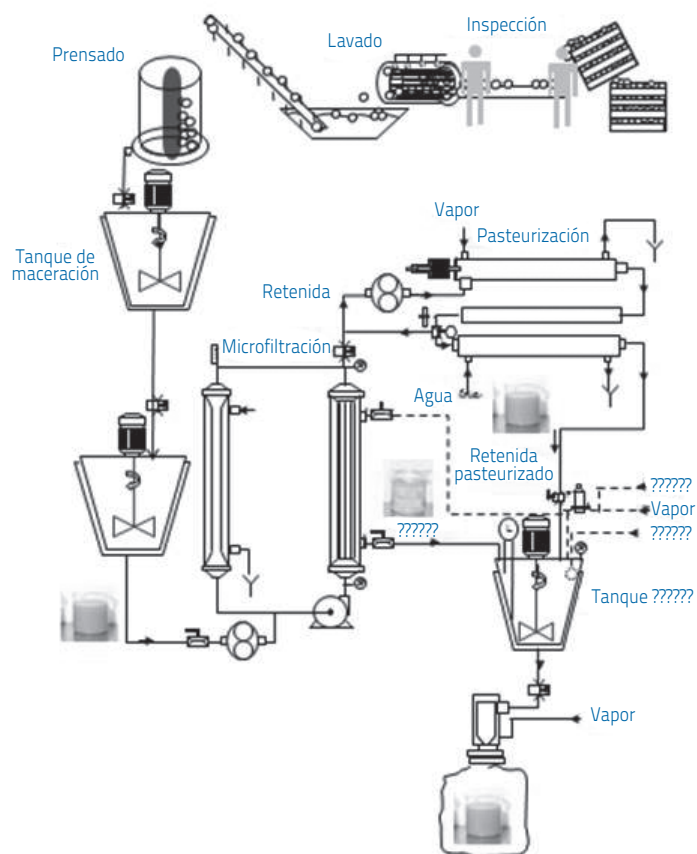


Figura 6: Esquema del flujo de proceso "Fresh note"

Tabla 2: Retención observada para algunos compuestos durante la microfiltración tangencial en membranas cerámicas con 0,2 micras de diámetro de los poros

CARACTERÍSTICAS	RETENCIÓN ^x		RETENCIÓN ^x
Sólidos insoluble suspended	100 %	- Carotenoides	>90%
Microorganismos	100 %	- Beta-caroteno	> 90%
Azúcares	< 1 %	- Licopeno	> 90%
Ácidos orgánicos	< 1 %	Compuestos aromáticos	
Acido L- ascórbico	< 7 %*	-Esteres	<10%
Micronutrientes		-Aldehídos	<10%
- Compuestos fenólicos	< 1 %	-alcoholes alifáticos	<10%
- Antocianinas	< 1 %	- Ácidos volátiles	<10%
- Betacianinas	< 1 %	-Terpenol	≈18%
- Elagitanninos	< 1 %	- Hidrocarburos terpenicos	≈40%

* La retención es calculada como $Ra=1-C_{permeado}/C_{jugo\ inicial}$

4.2.2 Viabilidad de la MFT para el procesamiento a pequeña o mediana escala

La MFT es una tecnología modular y en consecuencia presenta varias ventajas sobre otras tecnologías emergentes para la aplicación a pequeña o mediana escala. El costo del equipo (~8000 USD/m² para membranas cerámicas) y los costes de funcionamiento aumentan casi proporcionalmente a la capacidad la cual a su vez, depende de la superficie de la membrana (expresada en metros cuadrados). Existen equipos de MFT con superficies de membranas desde centímetros cuadrados hasta varios cientos de metros cuadrados.

El factor más importante que debe tenerse en cuenta al evaluar la viabilidad industrial de la MFT es el flujo promedio expresado en litros de permeado obtenido por hora por metro cuadrado (L/H.m²). Este valor promedio del flujo de permeación depende de varios factores, incluyendo el tipo de fluido a tratar, del procedimiento de extracción, del contenido de sólidos insolubles inicial, de los tratamientos previos como la maceración enzimática, y las condiciones hidrodinámicas durante la microfiltración. Todos estos parámetros del proceso deben ser ajustados a nivel piloto antes de definir si la operación es viable económicamente. Existe un flujo crítico bajo el cual el proceso no es viable, pero este depende del valor de los productos. Para los jugos de fruta, el flujo crítico mínimo se estima en alrededor de 50 L/H.m². Para los extractos de bioactivos con mayor valor añadido, este flujo crítico puede ser ligeramente inferior. Los flujos de permeación se pueden mejorar mediante pre-tratamiento, ya sea mecánico o enzimático para reducir los sólidos en suspensión y sobre todo los polisacáridos solubles como la pectina que forman a la superficie de la membrana un gel que limita fuertemente los flujos. Según los tipos de fluidos en MFT se obtiene en general flujos entre 150 y 80 litros/m².

El diseño de un sistema de MFT es relativamente simple, ya que el proceso requiere de pocos elementos. A cualquier escala, pequeña o grande, los principales elementos de la MFT al igual que la ultra y nano filtración son los siguientes: 1) una bomba de alimentación positiva para aplicar una presión estática al circuito (generalmente entre 1 y 3 bares); 2) una bomba de circulación que debe crear una velocidad de flujo tangencial a la superficie de la membrana entre 5 y 7 m/s; 3) un módulo membranario que contiene una o varias membranas y 4) un sistema de intercambio de calor para mantener la temperatura constante durante el proceso (Figura 7).

Excepto el módulo membranario, este sistema puede ser construido por cualquier taller metal mecánico. Existen diferentes tipos de membranas y tipos de módulos. Para la MFT aplicada a la agro-industria, se recomienda usar membranas cerámicas aunque su precio sea mayor, las cuales tienen una resistencia química sin igual y una larga vida útil. Las membranas orgánicas requieren cuidados específicos a menudo incompatibles con un uso industrial intenso en las pymes.

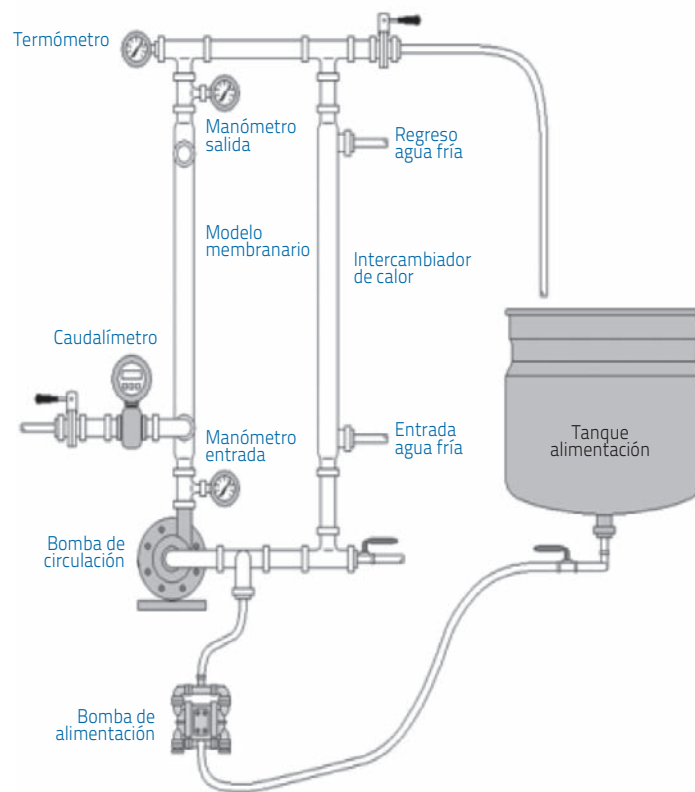


Figura 7: Sistema de filtración tangencial con tecnología de membranas (MFT/UF)



Un sistema de MFT puede ser operado, ya sea en modo discontinuo o continuo y puede ser fácilmente incluido en una línea de procesamiento clásica. El proceso puede ser llevado en modo batch o modo continuo extrayendo regularmente el retenido.

La limpieza de las membranas es el factor más limitante, ya que se debe realizar periódicamente. Dependiendo del proceso seguido, generalmente se realiza un ciclo de limpieza (en promedio de 1,5 horas) cada 6 a 8 horas de procesamiento continuo. Si las membranas son de cerámicas, se aplica el mismo procedimiento de limpieza in situ que para los otros equipos en acero inoxidable consistente en un lavado básico a alta temperatura con soda caústica (NaOH al 2%), previo enjuague con agua, seguido por un lavado ácido con ácido nítrico (HNO₃ al 1%).

Finalmente, el requisito de energía de un sistema de MFT es muy bajo, en comparación con otros procesos tales como la pasteurización. También, como todas las tecnologías de membrana, la MFT es fácil de usar, requiriendo de trabajadores poco calificados y finalmente de muy bajo impacto ambiental. Todos estos aspectos hacen que las tecnologías de membrana sean muy adecuadas para las empresas de pequeña y mediana escala.

4.3 LA ULTRAFILTRACIÓN Y NANOFILTRACIÓN PARA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS BIOACTIVOS

El mercado de ingredientes naturales requiere productos con un cierto nivel de concentración de los compuestos bioactivos. Sin embargo como la mayoría de los compuestos bioactivos son sensibles al calor, al oxígeno y en menor medida la luz, sobre todo durante el almacenamiento, es necesario aplicar procesos de concentración que eviten la exposición a estos elementos. Por otra parte, las exigencias naturales en este mercado prohíben el uso de solventes químicos a excepción de los considerados "verdes", biodegradables e inofensivos en caso de residuos en los alimentos lo que reduce la lista prácticamente al etanol, y a los solventes terpenicos naturales (α -pineno o d-limoneno).

4.3.1 Comparación UF y NF

La separación y concentración de compuestos bioactivos implica más un proceso de separación mecánico que químico. Entre las tecnologías posibles, las tecnologías de separación por membranas, tales como la ultrafiltración (UF) y la nanofiltración (NF) tienen ventajas comparativas para su aplicación a pequeña y mediana escala. Como la MFT, la ultrafiltración (UF) y nanofiltración (NF) son dos procesos de separación impulsada por una presión diferencial entre el compartimiento retenido y permeado separado por una membrana. El equipo es absolutamente igual al de la figura 7, excepto que las presiones aplicadas son mayores y según el tipo de membrana, las presiones transmembranarias van de 5 a 15 bares en UF y de 8 a 30 bares en NF. De esta manera varía, solo varía la resistencia del equipo y el tamaño de la bomba de alimentación la cual debe permitir la presurización del circuito.

En UF y NF no se habla de diámetro de poros de la membrana sino de poder de corte lo que corresponde al peso molecular mínimo de proteínas globulares que pueden ser retenidos por la membrana. Se seleccionan las membranas según su poder de corte expresado generalmente en Daltons (Da) equivalente al peso molecular en g/mol de la proteína globular retenida.

La separación en UF depende esencialmente del tamaño de las moléculas contrario a la NF, donde los fenómenos de interacción con el material de la membrana son muy importantes. La UF utiliza membranas porosas para permitir la separación de compuestos solubles de alto peso molecular (> 1 000 Da o 1000 g/mol). En NF se busca una separación muy fina de compuestos hasta 200 Da. Para este fin solo membranas orgánicas existen en el mercado y la optimización de este proceso implica además de las condiciones hidrodinámicas la selección del material de la membrana.

4.3.2 Aplicaciones para obtención de extractos bioactivos

La UF se ha aplicado a diferentes extractos de compuestos bioactivos más para purificar que para concentrar cumpliendo con la remoción de compuestos hidrosolubles como pectinas, proteínas u otras moléculas de alto peso molecular. Recientemente, con la aparición de membranas cerámicas de bajo poder de corte, se ha usado para concentrar bioactivos con peso molecular superior a 1000 g/mol. Elagitaninos, taninos condensados pueden ser concentrados mediante proceso de bajo UF. Sin embargo, aún moléculas de más bajo peso molecular como las antocianinas pueden ser concentradas con membranas de 1000 Da ya que las tasas de retención pueden ser superior a 90%. Esta técnica se ha aplicado a la concentración de antocianinas de uva y flor de Jamaica (Kalbasi y Cisneros-Zevallos 2007, Cissé, Vaillant et al. 2011).

La NF es mejor adaptada a la separación de solutos de más bajo peso molecular y ha sido empleada en agro-industrias para la concentración de mosto o orujo de uva (Díaz-Reinoso, Moure et al. 2009), la recuperación de aromas de jugos de frutas (Banvolgyi y Horvath 2006) y la valorización de aguas residuales de la producción de jugo de naranja (Conidi, Cassano et al. 2012).

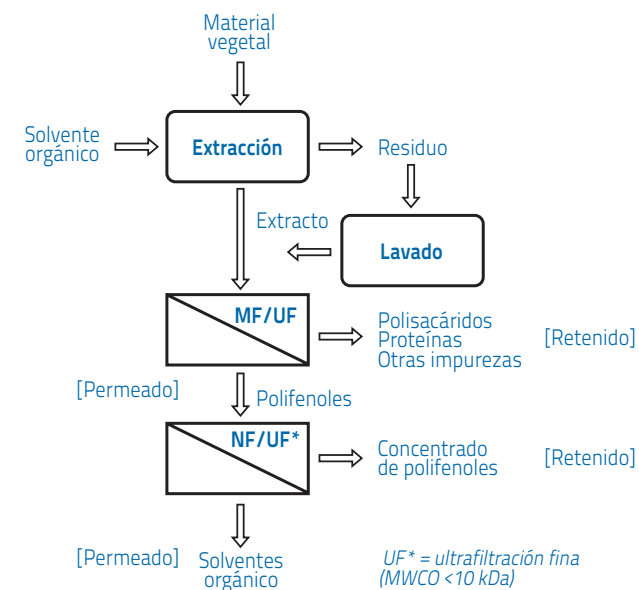


Figura 8: Típico flujo de proceso para la obtención de extractos bioactivos mediante tecnologías de membranas

4.3.3 Viabilidad económica

La viabilidad económica de las operaciones de UF y NF depende como en MFT del flujo promedio de permeado. Este depende del tipo de membrana, su afinidad por los compuestos bioactivos de interés, la capacidad de colmataje del extracto, la concentración inicial de solutos, y todas las variables hidrodinámicas tales como la presión transmembrana y la velocidad de flujo transversal. Por lo tanto, antes de implementar un sistema de UF o NF a nivel industrial, como en el caso de las variables hidrodinámicas, también se deben evaluar diferentes membranas comerciales para evaluar su afinidad con el compuesto a separar.

Pequeños equipos ya están disponibles comercialmente o pueden construirse incluso a nivel local. Una amplia gama de membranas orgánicas para UF y NF de todas las formas geométricas (hoja plana, espiral, o tubular) está disponible actualmente en el mercado, con precios relativamente asequibles según la aplicación industrial.

Al igual que con todos los procesos de membrana impulsados por presión, la disminución de los flujos a través de la formación de una capa de colmataje acompañado por los fenómenos de polarización en concentración que se agudizan en bajo UF y NF, son las principales limitaciones. En UF y NF se buscan alcanzar flujos de permeado entre 10 y 20 l/h.m². Cabe recalcar que es siempre preferible realizar un proceso de microfiltración antes de realizar la UF o NF con el fin de obtener flujos óptimos.

5. REFERENCIAS

Banvolgyi, S. and S. Horvath (2006). "Concentration of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice with nanofiltration." *Desalination* 200 (1-3): 535.

Carneiro, L., F. Gomes, V. M. Matta and L. M. C. Cabral (2002). "Cold sterilization and clarification of pineapple juice by tangential microfiltration." *Desalination* 148: 93-98.

Cissé, M., F. Vaillant, D. Pallet and M. Dornier (2011). "Selecting ultrafiltration and nanofiltration membranes to concentrate anthocyanins from roselle extract (*Hibiscus sabdariffa* L.)." *Food Research International* 44(9): 2607-2614.

Cisse, M., F. Vaillant, A. Perez, M. Dornier and M. Reynes (2005). "The quality of orange juice processed by coupling crossflow microfiltration and osmotic evaporation." *International Journal of Food Science & Technology* 40(1): 105-116.

Conidi, C., A. Cassano and E. Drioli (2012). "Recovery of phenolic compounds from orange press liquor by nanofiltration." *Food and Bioproducts Processing* 90(4): 867-874.

Díaz-Reinoso, B., A. Moure, H. Domínguez and J. C. Parajó (2009). "Ultra- and nanofiltration of aqueous extracts from distilled fermented grape pomace." *Journal of Food Engineering* 91(4): 587-593.

FUFOSE (1999). "Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document." *British Journal of Nutrition* 81(S1-S27).

Geffroy, O., R. Lopez, E. Serrano, T. Dufourcq, E. Gracia-Moreno, J. Cacho and V. Ferreira (2015). "Changes in analytical and volatile compositions of red wines induced by pre-fermentation heat treatment of grapes." *Food Chemistry* 187: 243-253.

González-Barrio, R., L. M. Trindade, P. Manzanares, L. H. de Graaff, F. A. Tomás-Barberán and J. C. Espín (2004). "Production of Bioavailable Flavonoid Glucosides in Fruit Juices and Green Tea by Use of Fungal α -L-Rhamnosidases." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(20): 6136-6142.

Kalbasi, A. and L. Cisneros-Zevallos (2007). "Fractionation of Monomeric and Polymeric Anthocyanins from Concord Grape (*Vitis labrusca* L.) Juice by Membrane Ultrafiltration." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(17): 7036-7042.

Landbo, A.-K. and A. S. Meyer (2001). "Enzyme-Assisted Extraction of Antioxidative Phenols from Black Currant Juice Press Residues (*Ribes nigrum*)." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(7): 3169-3177.

Moutounet, M. and J. L. Escudier (2000). "Pretreatment of grapes by flash release under vacuum. Influence on wine quality. ." *Bulletin de l'institut de la vigne* 827-828 . : 5-19.

Wire, B. (2014). "Research and Markets: Global Functional Food and Nutraceuticals Market 2013-2018-Analysis of the \$175 Billion Industry." Reuters on-line (http://www.researchandmarkets.com/research/m9qvsj/global_functional).



Unión Europea

PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

—

PROCESOS
INNOVADORES
**DE OBTENCIÓN
DE ALIMENTOS
FUNCIONALES Y
BIOACTIVOS A PEQUEÑA
Y MEDIANA ESCALA**



INTI



Unión Europea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919
www.ue-inti.gob.ar



Ministerio de Producción
Presidencia de la Nación