

APLICACIONES DE LA CRIOCONCENTRACIÓN EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA. REVISION

Ruiz, Y^{1*}, Sánchez, J., Auleda, J.M^a, Hernández, E, Raventós, M^(*)

Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología
Universitat Politècnica de Catalunya
Avda. Canal Olímpic, 15.
08860 Castelldefels (Barcelona)

(*) Correspondencia Autor: 93 552 10 00, e-mail: merce.raventos@upc.edu

1: Departamento de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia
Ciudad Universitaria Cra 30 No 45 – 26
Bogotá (Colombia)

1. INTRODUCCION

La creciente demanda de alimentos de alta calidad organoléptica y nutricional ha inducido a la búsqueda de nuevas o mejores tecnologías de procesamiento de alimentos. Entre las técnicas de concentración de alimentos líquidos, la crioconcentración presenta un gran interés debido a las bajas temperaturas empleadas en el proceso. La crioconcentración es una tecnología emergente, usada en la industria alimenticia para concentrar zumos de fruta, obtener extractos de café, vino y cerveza, entre otros. Se trata de una operación que permite la eliminación de agua de una solución mediante el enfriamiento de ésta hasta la formación y separación de cristales de hielo de alta pureza, que permiten obtener un fluido concentrado. De esta manera, la calidad nutricional y sensorial de los alimentos líquidos crioconcentrados es superior a la de los productos concentrados convencionalmente por evaporación, debido a las bajas temperaturas de procesamiento que previenen cambios químicos y bioquímicos indeseables, y minimizan las pérdidas de propiedades organolépticas.

La presente revisión muestra una visión general sobre el estado actual de la investigación en crioconcentración. Se hace una recopilación detallada de 63 de las publicaciones científicas localizadas sobre esta tecnología desde el año 1959 hasta la actualidad comparando los datos básicos presentados en los artículos.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

Para mostrar de manera general los avances realizados sobre la crioconcentración, se analizan las publicaciones sobre crioconcentración que se encuentran indicadas en la bibliografía. El análisis de estas publicaciones se sintetiza en las siguientes figuras.

La crioconcentración ha sido estudiada a partir de la segunda mitad del siglo XX hasta nuestros días momento en el que ha tomado más relevancia. La mayoría de investigaciones se han realizado en las dos últimas décadas, mostrando el reciente interés que se ha generado acerca de la operación como puede verse en la figura 1(a).

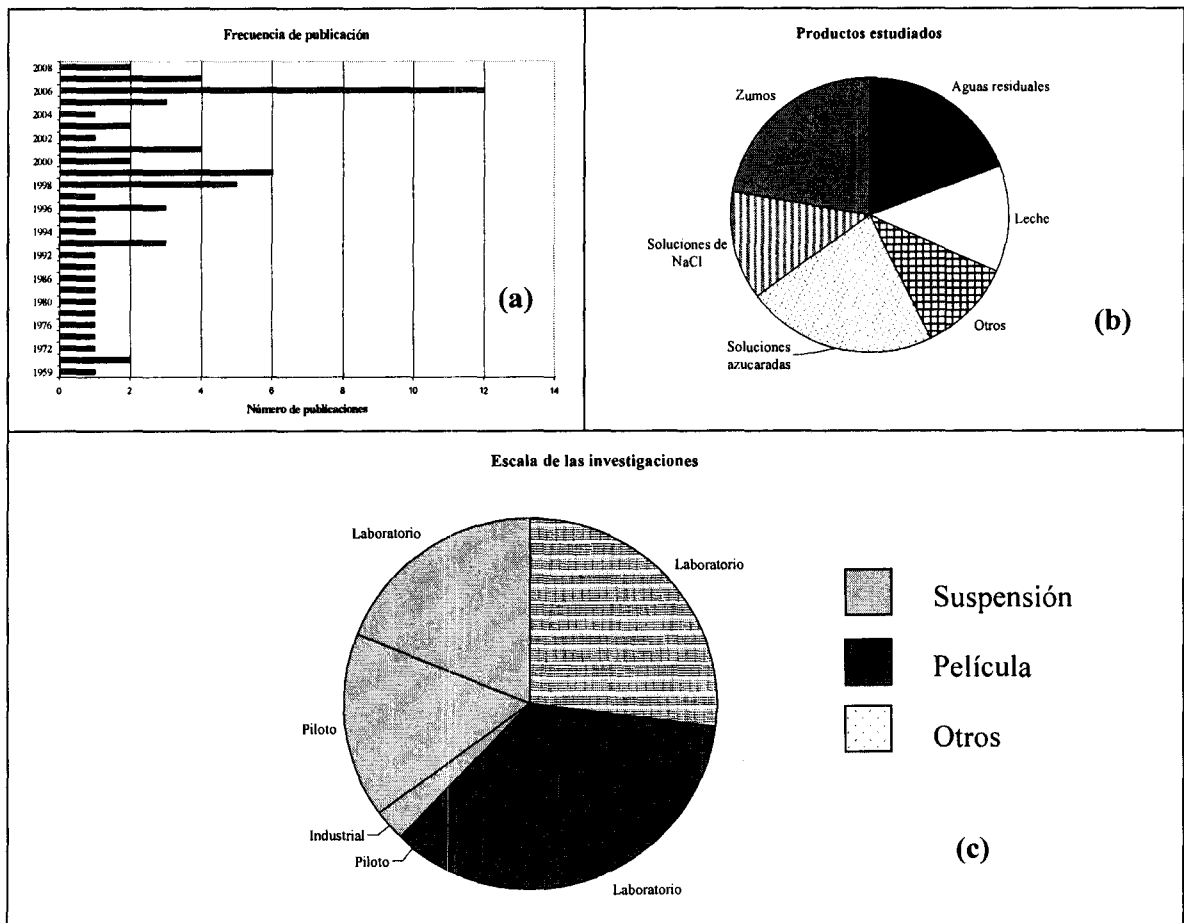


Figura 1. Frecuencia de publicación en las 63 revistas científicas analizadas.

La mayoría de estudios se realizan a nivel de laboratorio, sin embargo, algunos han alcanzado mayores escalas (figura 1(c)). La categoría "otros", en esta figura, hace referencia a métodos diferentes a la criocentración en película y en suspensión. Se puede ver que únicamente están en desarrollo a nivel de laboratorio. En el caso de la criocentración en suspensión, que es una tecnología más madura que las otras alternativas, se reportan ensayos a nivel industrial. En el caso de la criocentración en película, puede inferirse que aún es una tecnología emergente por lo que se encuentran pocos reportes a nivel piloto.

Los alimentos más utilizados en las investigaciones son los zumos de fruta y la leche. Se trata de los fluidos alimentarios que más utilizan las técnicas de concentración en la industria (figura 1(b)). Otra tendencia fuerte es aplicar la operación en la purificación de aguas, sobre todo en aquellas que están contaminadas con residuos que al elevar la temperatura pueden generar algún riesgo.

3. MÉTODOS DE CRIOCONCENTRACIÓN

La crioconcentración se realiza básicamente por dos métodos: en suspensión y en película, en crioconcentradores de placas y crioconcentradores progresivos. La diferencia entre estos últimos es la geometría de los equipos pero el principio de operación es el mismo. Esta clasificación es utilizada en el presente trabajo para describir los avances en investigación. Al respecto, los estudios analizados demuestran que hay dos tendencias. La mejora de los sistemas de crioconcentración por suspensión es continua; sin embargo, es en crioconcentración por película donde es más importante la actividad investigadora, como lo muestra el número de publicaciones.

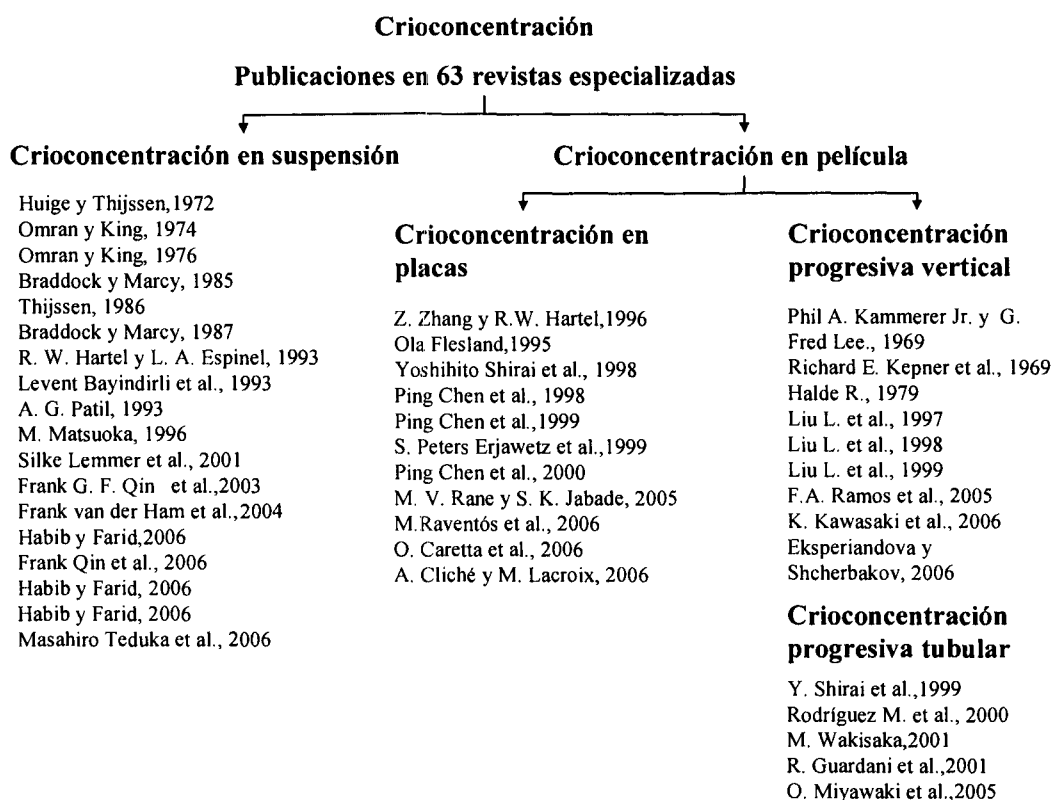


Figura 2. Investigación en crioconcentración

3.1. Crioconcentración en suspensión

Esta técnica fue desarrollada a nivel industrial por Grenco, ahora una subsidiaria de Niro Process Technology B.V, para zumos de frutas y otras bebidas. Está compuesta por tres etapas: cristalización, maduración y separación de los cristales de hielo cada una realizada en equipos especialmente diseñados para cada fin. La mayoría de investigaciones sobre esta técnica se realizan con zumos de frutas, seguidas por trabajos con leche y con soluciones de azúcares, existen pocos trabajos reportados con aguas residuales.

Las investigaciones realizadas con zumos tienen objetivos muy variados, entre los que se encuentran el estudio fenomenológico de la operación y la determinación de la calidad organoléptica de los zumos obtenidos. Los estudios que reportan las concentraciones finales alcanzadas por este método muestran valores de finales de 45°Bx.

Los estudios realizados con leche, han permitido establecer las condiciones para la obtención de un alimento concentrado de alta calidad organoléptica y nutricional. También se ha estudiado la viabilidad técnica de la implantación del proceso a nivel industrial. Las concentraciones alcanzadas en la leche concentrada por este método oscilan entre 20% y 38% en sólidos.

Los estudios realizados con soluciones de azúcares permiten estudiar los fenómenos que ocurren durante la operación, como los relacionados con la transferencia de calor en el intercambiador de superficies raspadas o los mecanismos de nucleación y crecimiento de cristales. Las concentraciones finales reportadas son de 40%.

Estudios más recientes están encaminados a mejorar cada una de las etapas de la criocentración en suspensión, en trabajos recientes se estudia el proceso de cristalización en un intercambiador de calor de lecho fluidizado, que resulta ser una alternativa más económica con respecto al intercambiador de calor de superficies raspadas, convencionalmente utilizado en un proceso de criocentración para la formación de cristales pequeños.

3.2. Criocentración en película

La criocentración en película consiste en formar un solo cristal, el cual crece capa por capa a partir de la solución concentrada. El cristal permanece adherido a las superficies del cristizador durante la operación lo que facilita la separación posterior de las dos fases. En la criocentración en película se han estudiado una gran variedad de fluidos, entre los que resaltan las soluciones de azúcares, zumos, leche y aguas residuales. En el caso de zumos las máximas concentraciones reportadas están en el orden de 30°Bx. En el caso de soluciones de sacarosa las máximas concentraciones son de 54°Bx y en leche por encima de 25% en peso de sólidos. En aguas residuales es de mayor interés verificar el grado de pureza del hielo obtenido, el cual dependerá de la concentración inicial de los residuos contenidos en esta. Se reportan para esta aplicación purezas del hielo de 99% o mayores.

En los artículos analizados no se encuentran reportes de uso de estos equipos a nivel industrial. A continuación se muestran dos técnicas de criocentración en película de acuerdo con los artículos estudiados.

3.2.1. Criocentración en placa

La criocentración en placas consiste en poner en contacto la solución a concentrar con una superficie fría, normalmente una placa cuadrada en posición vertical; el hielo forma una sola capa en la superficie y la solución se concentra de manera continua durante el tiempo de operación.

La mayoría de estudios, dentro de las investigaciones analizadas, son realizados a nivel de laboratorio y su principal objetivo es la explicación fenomenológica de la operación. Varios autores han realizado trabajos que tienen por objeto explicar la presencia de oclusión de fluido concentrado o contaminación de la capa de hielo con solutos provenientes de la solución concentrada. Entre estos trabajos se destacan las investigaciones realizadas en la década de 1990, donde se establece el efecto de la velocidad de crecimiento del cristal y de la concentración de la solución sobre el grado de oclusión en la fase sólida, encontrando que a medida que aumenta la velocidad de crecimiento del cristal y es mayor la concentración de la solución, aumenta el grado de oclusión en la fase sólida.

En otros trabajos se explica la oclusión como una consecuencia del elevado subenfriamiento en la interfase sólido líquido, lo que genera un gradiente de temperatura mayor respecto al gradiente que se tendría si la interfase estuviera a una temperatura cercana a la del equilibrio. Como consecuencia de este subenfriamiento se genera un crecimiento dendrítico del hielo y una acumulación permanente de solutos en la interfase. Este fenómeno se conoce como subenfriamiento constitucional. En trabajos más recientes, mediante interferometría óptica se ha confirmado la presencia de gradientes de concentración de solutos en la interfase sólido líquido y el crecimiento dendrítico del hielo.

Una aplicación de este tipo de proceso fue estudiada para la concentración de soluciones acuosas de glucosa, fructosa y sacarosa en un criocentrador de placas. En general, se obtuvo un mayor grado de concentración en las soluciones de sacarosa en menor tiempo respecto a los resultados obtenidos con las soluciones de glucosa y fructosa. Igualmente, la eficiencia referida a la producción de hielo fue más elevada en las soluciones de sacarosa.

3.2.2. Criocentración progresiva

La criocentración progresiva de soluciones acuosas consiste en la cristalización unidireccional del agua presente en la solución, que genera un efecto de concentración causado por la exclusión de las moléculas de soluto del frente de hielo móvil. Este es el mismo principio de criocentración utilizado en el equipo de placas. La criocentración progresiva se ha realizado en equipos verticales y equipos tubulares.

3.2.2.1. Criocentración progresiva vertical

Un sistema de criocentración progresiva vertical consiste de un vaso de muestras cilíndrico, un baño refrigerante, un sistema de inmersión del vaso dentro del baño, un agitador de la solución en la interfase hielo solución y una manta de calentamiento externa para controlar el nivel de hielo formado dentro del vaso de muestras y regular el crecimiento del cristal.

Las variables que se han estudiado en estos sistemas son la velocidad de inmersión, la velocidad de agitación, el tipo de solución, los mecanismos para disminuir el subenfriamiento, la concentración inicial de la solución y la calidad de los productos obtenidos. De manera general se ha encontrado que a mayores velocidades de agitación, menores velocidades de inmersión, menor grado de subenfriamiento y

menor concentración inicial, se consiguen mejores resultados en la operación en cuanto a pureza del hielo. En lo relacionado con la calidad, se ha encontrado que las características organolépticas y nutricionales de los zumos estudiados no varían de manera significativa cuando son crioconcentrados respecto a un zumo fresco.

3.2.2.2. Crioconcentración progresiva tubular

Con el objetivo de diseñar equipos que permitan aumentar el rendimiento y la productividad de la crioconcentración progresiva, se construyó un modelo tubular, éste sistema permitió suministrar un área grande de refrigeración y mostró ser efectivo como un método para escalar la crioconcentración progresiva alcanzando los objetivos iniciales. El sistema está provisto de dos tubos enchaquetados conectados entre sí. Por el interior de los tubos circula solución y en las chaquetas circula en refrigerante. La fase sólida se genera en la pared interior de los tubos y la solución concentrada es recirculada y fluye a través del ánulo que aun no se ha congelado. En este método, la velocidad de crecimiento más lenta de hielo y la velocidad más alta generaron una mayor pureza del hielo. El sistema resultó ser eficiente para crioconcentrar zumo de tomate, extracto de café y soluciones de sacarosa.

4. CONCLUSIONES

La crioconcentración permite obtener fluidos alimentarios concentrados de alta calidad organoléptica y nutricional, en concentraciones que no superan los 55°Bx.

La mayoría de estudios se realizan en fluidos como los zumos de fruta y la leche, sin embargo, aunque las investigaciones están encaminadas a disminuir el costo de la operación, es de prever que las investigaciones continúen realizándose con productos de alto valor agregado como mostos, café, te, entre otros, los que requieren que sus propiedades se conserven y pueden alcanzar un alto precio en el mercado. Igualmente, podría preverse que la operación también pueda ser utilizada en la purificación de efluentes acuosos con componentes de alto valor agregado, como extractos vegetales utilizados a nivel farmacéutico.

Se realiza investigación sobre los dos métodos de crioconcentración, con el objeto principal de suplir las deficiencias que se presentan en cada uno; esto es, en el caso de la crioconcentración en suspensión, se busca disminuir la presencia de partes móviles, mejorar los sistemas de separación de la fase sólida y líquida y aumentar el grado de concentración obtenido. Por otro lado, en el caso de la crioconcentración en película, se busca mejorar el entendimiento sobre los mecanismos que producen oclusión en la fase sólida, y dado que la operación no ha sido aplicada a nivel industrial, se espera que se continúe realizando trabajos que permitan generar procedimientos de cálculo para el diseño y escalado de equipos a nivel industrial.

AGRADECIMIENTOS:

El autor Y. Ruiz desea expresar sus agradecimientos al Instituto para el Avance de la Ciencia y Tecnología – COLCIENCIAS por el préstamo condonable para doctorado nacional 2004, y al Grupo de Investigación en Química de Aromas de la Universidad Nacional de Colombia.

El autor J. Sánchez desea expresar su agradecimiento al Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y la Tecnología por beca otorgada a través del FONACIT (doctorado 2008) (fondo nacional para la ciencia y la tecnología) República Bolivariana de Venezuela.