

## Aceleración de la deshidratación osmótica de frambuesas (*Rubus idaeus*) por medio de calentamiento óhmico

Ricardo Simpson R., Maite Jiménez P., Erica Carevic G. y Romina Grancelli M.

Universidad Técnica Federico Santa María, Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile

**RESUMEN.** Frambuesas (*Rubus idaeus*) se deshidrataron osmóticamente a través de un tratamiento convencional bajo el supuesto de solución homogénea, utilizando como medio una solución de glucosa al 62% a una temperatura de 50°C. También se deshidrataron osmóticamente por medio de calentamiento óhmico, utilizando como medio una solución de glucosa al 57%, con voltaje variable (para mantener una temperatura entre 40-50°C) y una intensidad del campo eléctrico <100 V/cm. Al comparar los resultados se observa una evidente disminución en el tiempo de proceso al utilizar el calentamiento óhmico. En algunos casos, ésta reducción alcanzó hasta un 50%. Esto se explica por el efecto adicional al daño térmico que se genera en un proceso óhmico, denominado electroporación. **Palabras clave:** Deshidratación osmótica, calentamiento óhmico, procesos combinados.

### INTRODUCCION

En estos últimos tiempos se ha desarrollado una gran diversidad de métodos de conservación de alimentos, incluso algunos con aplicación industrial. Por ejemplo, en la actualidad hay muchas plantas (más de 50) para el procesamiento óhmico de alimentos.

Los métodos convencionales no son suficientes, dado los efectos indeseables en los productos. Por ejemplo, causan deterioro de los atributos sensoriales, tales como, color, olor, textura, sabor, etc. y también una importante degradación de las propiedades nutricionales. En la actualidad existe una presión creciente por parte de los consumidores a favorecer productos "frescos".

Esta presión de los consumidores se ha traducido en una mayor demanda por alimentos mínimamente procesados, inocuos, con apariencia fresca y con un alto valor nutricional. Para cumplir con este objetivo se han desarrollado nuevas técnicas para el procesamiento de alimentos, y entre éstas destaca el calentamiento óhmico.

El calentamiento óhmico es un proceso térmico en el cual el calor es generado internamente en el alimento, el cual actúa como resistencia al paso de corriente eléctrica alterna (CA). Además del aumento de temperatura en el producto se producen cambios en la estructura celular, puntualmente sobre el tejido de la membrana plasmática, variando su permeabilidad en distintos grados (fenómeno conocido como

**SUMMARY. Acceleration of osmotic dehydration process through ohmic heating of foods: raspberries (*Rubus idaeus*).** Raspberries (*Rubus idaeus*) were osmotically dehydrated by applying a conventional method under the supposition of a homogeneous solution, all in a 62% glucose solution at 50°C. Raspberries (*Rubus idaeus*) were also osmotically dehydrated by using ohmic heating in a 57% glucose solution at a variable voltage (to maintain temperature between 40 and 50°C) and an electric field intensity <100 V/cm. When comparing the results from both experiments it was evident that processing time is reduced when ohmic heating technique was used. In some cases this reduction reached even 50%. This is explained by the additional effect to the thermal damage that is generated in an ohmic process, denominated electroporation.

**Key words:** Osmotic dehydration, ohmic heating, hurdles technology.

electroporación). Estos cambios se logran principalmente variando la intensidad del campo eléctrico aplicado (lo cual se puede lograr variando el voltaje). Intensidades de campos eléctricos altos (10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> V/cm) proporcionan una oportunidad en experimentos de inactivación microbiana (1). Estos son los rangos utilizados en los tratamientos de PEF (pulsed electric field). Utilizando altos valores de E (donde E es la intensidad del campo eléctrico) se puede lograr una permeabilización de la estructura celular. Campos eléctricos con intensidades bajo los 100 V/cm son utilizados generalmente en calentamiento óhmico, permiten un aumento del rendimiento en procesos de extracción y secado en diferentes alimentos (2-4). En este rango de valores la permeabilización de la membrana es reversible.

Debido a la electroporación y la desnaturalización de las membranas a causa del proceso térmico presente, ocurre otro fenómeno llamado electroplasmólisis o también electropermeabilización.

El mecanismo más aceptado de electropermeabilización de membranas biológicas es la formación y la generación de poros con el consiguiente intercambio molecular y el desbalance del equilibrio osmótico natural entre volúmenes intracelulares y extracelulares (5,6).

La electroplasmólisis de tejidos de verduras aumenta la conductividad eléctrica, difusividad, coeficientes de transferencia de calor y de masa. Esto disminuye la compresibilidad y la fuerza de los tejidos biológicos. Estos

efectos de electropermeabilización son explotados en el desarrollo de nuevas elaboraciones (7).

El calentamiento óhmico ha sido estudiado por largo tiempo, principalmente como método de esterilización o pasteurización. Desde finales de la década de los 90's han surgido nuevas publicaciones enfocadas a la utilización del calentamiento óhmico en otras aplicaciones, basándose en el efecto generado en el tejido celular del alimento. Lima y Sastry (8), y posteriormente Wang y Sastry (9), encontraron un aumento en el porcentaje de extracción de jugo en manzanas utilizando el calentamiento óhmico como un pretratamiento. Resultados similares fueron encontrados en secado con aire caliente (2). Además notaron que el jugo extraído de muestras pretratadas, con calentamiento óhmico, no presentan diferencias en color o claridad en comparación al producido a partir de muestras crudas, esto se diferencia de los resultados obtenidos con tratamientos térmicos convencionales, los cuales debido a las altas temperaturas generalmente causan pardeamiento y cambios en el sabor del producto (10). Realizando pruebas similares y utilizando una intensidad de campo eléctrico menor a 100 V/cm, fueron capaces de identificar que la desintegración del tejido depende de varios parámetros del tratamiento, tales como, intensidad del campo eléctrico, temperatura, tiempo de duración y tipo de tejido.

Basados en estos resultados, se buscó un proceso tradicional que combinado con calentamiento óhmico pudieran causar un efecto positivo tanto en rendimiento, como en la calidad final del producto. La deshidratación osmótica cumple ampliamente con estos requisitos, por lo que el presente estudio busca investigar si efectivamente al deshidratar osmóticamente un alimento a través de calentamiento óhmico se obtienen mejoras no solo en la calidad final del producto sino que también una reducción importante en el tiempo de proceso.

La deshidratación osmótica es una tecnología promisoría en cuanto a que preserva mejor la calidad de los alimentos en comparación con los tratamientos de secado convencionales. Esta mejora, no solo se ve reflejada en una mejor apariencia y calidad sensorial general, sino que también, en sus ventajas nutricionales. Lamentablemente, los tiempos de proceso son demasiado largos y hacen poco práctica su implementación industrial. La hipótesis de esta investigación es que al sustituir el modo de calentamiento por el calentamiento óhmico se acelerará el proceso de difusión principalmente por el mecanismo de electroporación. De ésta forma, se obtendrá un producto con la ventajas del deshidratado osmótico y en un tiempo de proceso comparable al secado convencional.

## MATERIALES Y METODOS

### Materia prima

En ambos tratamientos se utilizaron frambuesas congeladas calidad IQF. Las concentraciones de la solución y las frambuesas fueron determinadas usando un refractómetro Topac Modelo N1a (Cohasset, MA, USA).

### Tratamiento de deshidratación osmótica convencional

La deshidratación osmótica fue realizada en una celda de acrílico de 3 litros de capacidad, con un baño termostático mantenido a 50 +/- 1°C. Cinco jaulas de acero inoxidable, cada una conteniendo una cantidad determinada de frambuesas, fueron inmersas en niveles dentro del medio osmótico a razón en peso de fruta y solución deshidratadora 1:7. Dicho medio fue constituido por una solución de glucosa al 62%. Para mantener homogeneizada la solución se utilizó recirculación haciendo uso de una bomba peristáltica. Después del deshidratado osmótico, las frambuesas fueron lavadas y luego secadas con papel para remover la solución de la superficie. A continuación se determinaron los sólidos solubles. Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

### Tratamiento de deshidratación osmótica por calentamiento óhmico

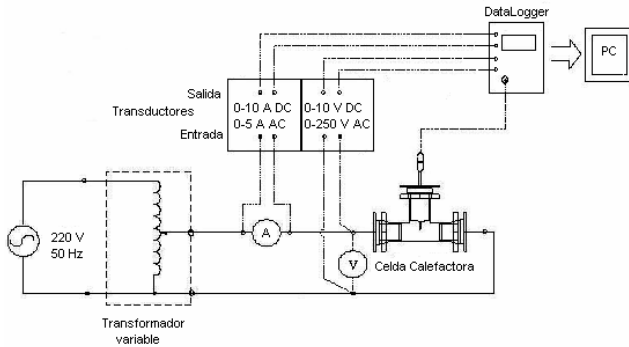
Para el proceso de deshidratación osmótica por calentamiento óhmico se utilizó un transformador variable de 60 Hz para regular la tensión entregada. Además transductores de voltaje y corriente son usados para medir el voltaje y corriente que atraviesa las muestras. La temperatura, el voltaje y la corriente son registradas cada 2 [seg.] en un equipo multi-canal Ellab data logger, modelo CTF-84 (Ellab, Roedovre, Denmark).

Como celda de calentamiento se utilizó una cámara de vidrio en forma de T (Figura 1), cuya función es contener el alimento a procesar. Sus dimensiones son 15 cm de largo y 4 cm de diámetro interno. En la abertura superior consta de una tapa de vidrio en la cual se posiciona un termopar cobre-constantan (Cu-CuNi) (Ellab, Roedovre, Denmark). En los extremos laterales se encuentra ubicado un electrodo en forma de disco de acero inoxidable.

El proceso se desarrolló con el sistema de calentamiento óhmico utilizando la celda calefactora sin agitación (Figura 1), en la cual se introdujo la solución hipertónica (57°Brix) constituida por glucosa, agua destilada y NaCl (0,26% p/p). A ésta se adicionaron 27g. de frambuesas, equivalentes a 10 unidades (10°Brix). Se trabajó en un rango de temperatura entre los 40-50°C por lo cual se realizaron variaciones continuas en el voltaje para lograr mantener dicha condición. Después del tratamiento osmótico, las frambuesas fueron lavadas y secadas con papel para remover la solución de la superficie, y luego se determinaron los sólidos solubles.

FIGURA 1

Equipo de calentamiento óhmico utilizado para la deshidratación osmótica de frambuesas (*Rubus idaeus*)



**RESULTADOS**

Los datos acerca de la variación de los sólidos solubles en las frambuesas para el tratamiento convencional y el realizado a través de calentamiento óhmico se muestra en la Tabla 1. En esta se aprecia claramente una importante diferencia en el tiempo requerido para alcanzar un determinado grado de deshidratación o concentración (°Brix). Esto queda claramente establecido en la Figura 2, en la cual se incluyen las líneas de tendencia. Resulta evidente que a través de la utilización de calentamiento óhmico se obtienen mejores resultados, logrando reducciones de tiempo de hasta un 50%. Para una mejor comprensión, estos resultados son presentados en la Figura 2.

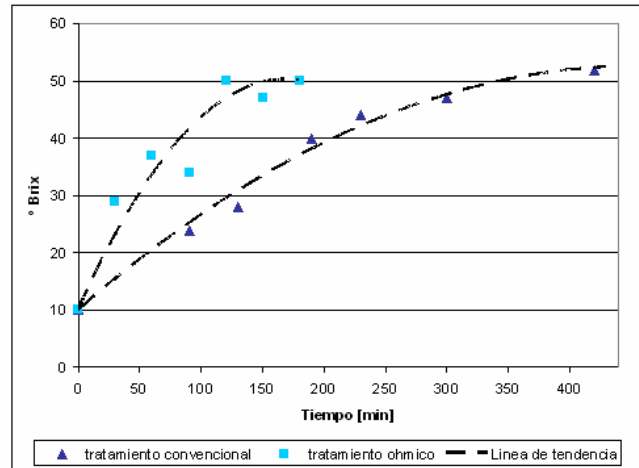
TABLA 1

Evolución de los °Brix de la muestra para tratamiento osmótico en tratamiento convencional y tratamiento ósmotico combinado con calentamiento óhmico

Tiempo [min.]	Tratamiento convencional °Brix Frambuesa	Tratamiento óhmico °Brix Frambuesa
0	10	10
30	-	29
60	-	37
90	24	34
120	-	50
130	28	-
150	-	47
180	-	50
190	40	-
230	44	-
300	47	-
420	52	-

FIGURA 2

Variación de sólidos solubles a través del tiempo en procesos de deshidratación osmótica de frambuesas (*Rubus idaeus*) por calentamiento convencional y por calentamiento óhmico



En el comportamiento de los datos se aprecia para ambos tratamientos una curva de crecimiento con saturación, para el caso del tratamiento convencional, esto ocurre al cabo de 420 minutos, alcanzando las frambuesas los 52°Brix. Por otra parte en el tratamiento con calentamiento óhmico, la saturación se alcanzó a los 180 minutos, obteniéndose las frambuesas con 50°Brix.

**DISCUSION**

Los resultados observados en la Figura 2, que muestran las diferencias entre ambos tratamientos, se explican sobre la base de las características particulares de cada método. El tratamiento convencional supone una solución homogénea, dado que se mantiene una recirculación constante de ésta, por otro lado el método óhmico se realizó de forma estática por lo que ocurre una precipitación de los sólidos en suspensión (debido a la viscosidad) y por lo tanto una menor concentración en la superficie de la solución. Esto lleva a que se alcance el equilibrio a una concentración menor.

Además de la diferencia de concentraciones entre producto y solución, en el caso del tratamiento convencional actúa el efecto de la temperatura favoreciendo la transferencia de masa a través de la desnaturalización térmica de las membranas celulares. Por otra parte en el calentamiento óhmico la transferencia de masa está favorecida por la electroplasmólisis, la cual contempla la presencia de dos efectos; la desnaturalización térmica y la electroporación.

El segundo punto nos muestra las posibles razones por las cuales a través de calentamiento óhmico se pueden reducir

los tiempos de deshidratado osmótico, adjudicándose a la acción conjunta de dos variables de proceso que se encuentran ligadas, temperatura e intensidad del campo eléctrico. Ya que ambas de forma independiente son capaces de provocar alteraciones en la membrana plasmática, permitiendo la difusión entre zonas internas y externas de las células. Al actuar ambos efectos, la velocidad de difusión se incrementa, lo cual tiene sentido en esta investigación, ya que las temperaturas utilizadas en ambos tratamientos fueron las mismas, convirtiendo así a la intensidad de campo eléctrico (efecto de electroporación) en el agente dominante y determinante en el incremento de la velocidad de difusión, y como consecuencia en la disminución del tiempo de proceso en comparación a la deshidratación osmótica realizada a través de un método convencional (considerando además que se utilizaron bajas intensidades, menores a 100 V/cm).

### CONCLUSIONES

El tratamiento de deshidratación osmótica de frambuesas a través de calentamiento óhmico fue muy efectivo para reducir el tiempo de proceso. Los resultados experimentales muestran que esta reducción de tiempo alcanzó hasta un 50% con relación al tratamiento convencional. Dado que se utilizaron temperaturas no mayores a 50°C, no solo se procesó en un tiempo significativamente menor, sino que también con una excelente calidad final del producto.

Con estos resultados se demuestra que la aplicación del calentamiento óhmico combinado con deshidratación osmótica resulta efectivo. En el futuro se planea efectuar experiencias a escala piloto con miras a una potencial aplicación industrial.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Universidad Técnica Federico Santa María por el financiamiento otorgado a través del proyecto USM 27.07.25.

### REFERENCIAS

1. Barbosa-Cánovas G, Góngora N, Pothakamury U, Swanson B. Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields. Academic Press, London. 1998.
2. Wang W & Sastry SK. Effects of moderate electrothermal treatments on juice yield from cellular tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2002; 3,371-377.
3. Kulshrestha S & Sastry SK. Frequency and voltage effects on enhanced diffusion during moderate electric field (MEF) treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2003;4, 189-194.
4. Zhong T & Lima M. The effects of ohmic heating on vacuum drying rate of sweet potato tissue. *Bioresource Technology*. 2003;87, 215-220.
5. Weaver JC, Chizmadzhev YA. Theory of electroporation: a review. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 1996;41,135-160.
6. Sundaram S, Stebe KJ. Dynamic penetration of an insoluble monolayer by a soluble surfactant: theory and experiment. *Langmuir*. 1997;13, 1729-1736.
7. Ngadi M, Bazhal M, Raghavan GSV. Engineering aspects of pulsed electroplasmolysis of vegetable tissues. *J Sci Res Development*. Invited Overview Paper. Vol. V. 2003.
8. Lima M & Sastry S. The effects of ohmic heating frequency on hot-air drying rate and juice yield. *J Food Eng*. 1999;41, 115-119.
9. Wang W & Sastry SK. Effects of thermal and electrothermal pretreatments on hot air drying rate vegetable tissue. *J Food Process Eng*. 2000;23,299-319.
10. Praporscic I, Lebovka NI, Ghnimi S, Vorobiev E. Ohmically heated, enhanced expression of juice from apple and potato tissues. *Biosystems Engineering*. 2006;93(2), 199-204.

Recibido: 24-04-2007

Acepado: 10-07-2007