

**XVIII Congreso Chileno de Ingeniería Química**

## SECADO DE FRAMBUESAS EMPLEANDO MECANISMOS COMBINADOS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PULSOS DE VACÍO Y MICROONDAS A VACÍO

RODRIGO BÓRQUEZ Y, CAROLINA SEPÚLVEDA S,  
CARLA CONTRERAS I. & CHRISTIAN AMTHAUER H.

OCTUBRE 2009

## Introducción

### Frambuesas en Chile


	18.794	17.531	234	274	85	80
	Hectáreas / Productores / Comercializadores / Centros Acopio / Elaboradores / Exportadores					


- Chile es el más importante productor de frambuesas del hemisferio sur y ocupa el tercer lugar en exportaciones a nivel mundial.
- Producción de frambuesas (ton)
 


	Exp. como Congelado	Exp. como Jugo	Exp. como Fresco	Exp. como Conserva	Exp. como Deshidratado	Consumo Local	Total
2006	38.659	13.300	4.143	523	175	3.000	59.800
2007	37.998	12.362	4.077	437	38	2.500	57.412
%	66	22	7	<1	<1	4	

## Objetivos

- Deshidratación de frambuesas empleando un sistema combinado de secado osmótico con pulso de vacío y secado por microondas en condiciones de vacío
- Para uso en la industria de alimentos

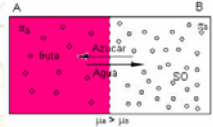
Saborizantes ←  → Productos lácteos

Colorantes ←  → Jugos

Confites ←  → Mermeladas

## Deshidratación Osmótica con Pulso de Vacío

- Sistema en el cual se separan dos líquidos por una membrana semipermeable, con diferente actividad.
- La membrana permite el flujo de los solventes y algunos solutos pequeños.
- El pulso de vacío, hace que el agua retenida en el interior de las células de la fruta comience a evaporarse, lo que aumenta la presión interna de la fruta haciendo migrar al agua a través de la membrana de la fruta hacia fuera más rápidamente debido al gradiente de presiones existente entre el interior y el exterior de esta.




## Deshidratación en Microondas

- Los hornos microondas fueron diseñados a una frecuencia de 2,450 [MHz], y la amplitud del campo estacionario de manera que afecten principalmente a las moléculas de agua; de esta forma el calentamiento está regido principalmente por la cantidad de agua que posee el alimento a calentar o secar; pero la existencia de otras sustancias polares o iones favorece el calentamiento.
- Al afectar a las moléculas de agua presentes en el alimento logran penetrarlo, logrando así un calentamiento más homogéneo en el interior de la fruta. En este tipo de secado no es gobernado por los mecanismos de transferencia de calor, como en el secado convencional, por lo cual los tiempos de secado son más cortos y se tiene mayor eficiencia energéticamente. Se distinguen 3 periodos que describen el secado:

Periodo de ajuste → Periodo de temperatura constante → Periodo final

## Proceso de deshidratación



Matraz con frambuesas sumergidas SO antes de tratamiento

Pulso de vacío por 8 minutos y 4 horas en la SO

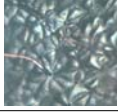
Frambuesas, son lavadas, secadas con papel colocadas en la bandejas del microondas

Secado a microondas a vacío 0,05 bar, variando la potencia

Sistema de vacío  
• Bomba de vacío  
• Trampa de vapor

## Tipos de frambuesas utilizadas

### Imágenes Microscopia Electrónica



Fresca

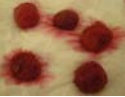


Congelada IQF



Congelada freezer

### Imágenes de Descongelamiento

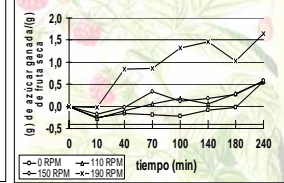
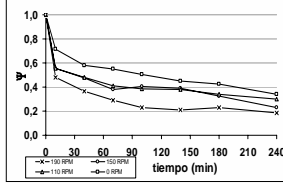


Congelada IQF



Congelada freezer

## Resultados y Análisis

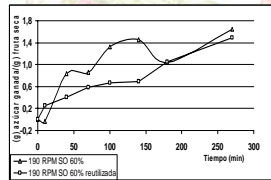
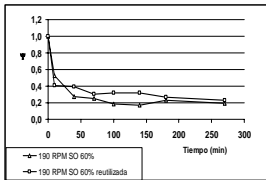


Relación entre humedad adimensional en función del tiempo a diferentes velocidades de agitación. Para una solución de sacarosa al 60%.

Ganancia de azúcar en función del tiempo a diferentes velocidades de agitación. Para una solución de sacarosa al 60%.

- El valor de humedad adimensional es menor a medida que se aumenta la velocidad de agitación.
- El pulso de vacío inicial muestra una clara influencia sobre la deshidratación.
- A medida que avanza el tiempo se observa una clara tendencia asintótica para el valor de humedad adimensional.
- A una mayor velocidad de agitación se aprecia una mayor ganancia de solutos por parte de la frambuesa.

## Resultados y Análisis

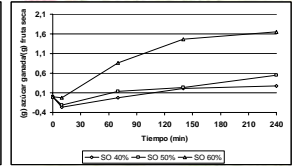
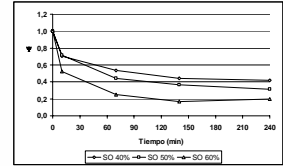


Relación entre humedad adimensional en función del tiempo a 190 RPM con Solución Quémica reutilizada.

Ganancia de azúcar en función del tiempo a 190 RPM con SO reutilizada.

- Se puede observar de los gráficos anteriores que los valores finales de azúcar ganada por gramos de fruta seca son muy similares entre ambos experimentos y que el valor final de humedad adimensional también lo son.

## Resultados y Análisis

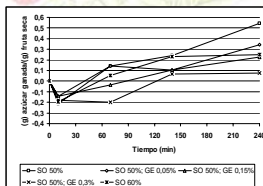
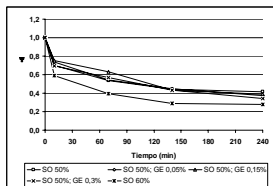


Relación entre humedad adimensional en función del tiempo a diferentes concentraciones de SO, a una velocidad de 190 RPM.

Ganancia de azúcar en función del tiempo a diferentes concentraciones de sacarosa a una velocidad de 190 RPM.

- Se observa que para una SO al 60% p/p de sacarosa el valor final de la humedad adimensional es de aproximadamente 0,2 y para una SO al 40% el valor es de aproximadamente el doble.
- También hay una significativa ganancia de azúcar a una mayor concentración de sacarosa.

## Resultados y Análisis



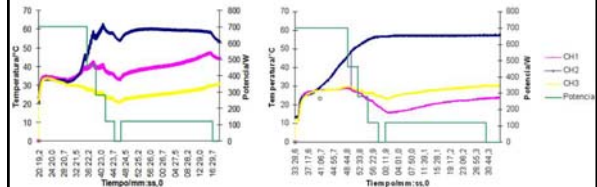
Relación entre humedad adimensional en función del tiempo a diferentes concentraciones de gelatina en una SO al 50% de sacarosa a una velocidad de 190 RPM.

Ganancia de azúcar en función del tiempo a diferentes concentraciones de gelatina en una SO al 50% de sacarosa a una velocidad de 190 RPM.

- Si bien la SO más concentrada es la que llega a un menor valor de humedad adimensional ( $\Psi=0,3$ ), la SO con más concentración de gelatina (0,3%) es la que se acerca más a aquel nivel y secado ( $\Psi=0,35$ ).
- Se observa que valor final obtenido menor en la ganancia de solutos, es el del sistema al 50% con 0,3% de gelatina (aproximadamente 0,1 g azúcar ganada/g fruta seca)

## Resultados y Análisis

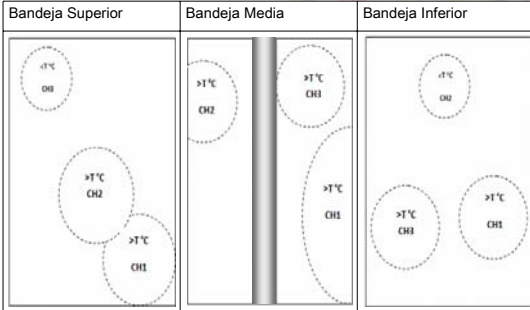
- Variando la potencia manteniendo temperatura constante



- Esta experiencia muestra la importancia de la ubicación de las termocouplas dentro del campo magnético del microondas. Este deber ser el mismo para lograr la réplica entre las experiencias, ya que como se observa en las gráficas, estas no tienen concordancia entre ellas ya que no se ubicaron en igual disposición las termocouplas.

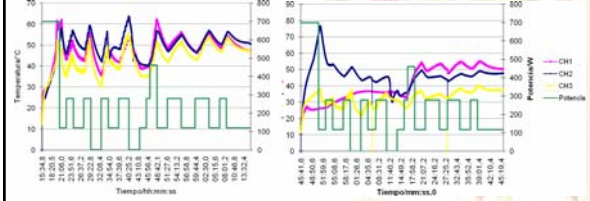
## Resultados y Análisis

- Identificación puntos de mayor temperatura



## Resultados y Análisis

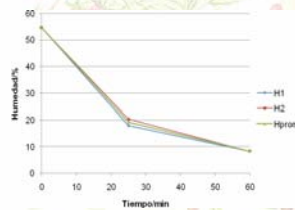
- Variando la potencia manteniendo temperatura constante



- En la primera prueba se mantuvieron alrededor de los 50 °C los tres sensores, siendo el que tenía mayor temperatura siempre el más cercano al magnetrón (CH2). La réplica realizada presenta grandes variaciones de temperatura con respecto a la primera prueba, sin haber variado las posiciones. Esto se debe a que CH1 en los primeros 10 minutos no se encontraba bien ubicada en la fruta, por lo que los datos tomados fueron del campo.

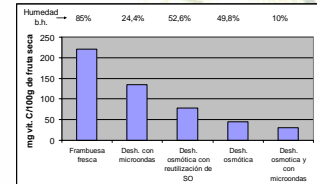
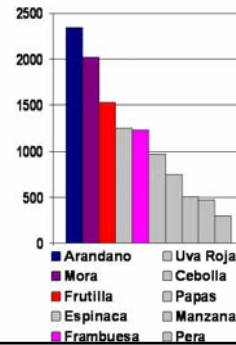
## Resultados y Análisis

- Para verificar el secado se sacaron muestras, para medir la humedad, en ambas pruebas. En ambos casos la humedad fue variando en el mismo orden de magnitud, en el mismo tiempo como se presenta en la siguiente gráfica.
- En el secado realizado se logra una humedad final de menos del 10 % base húmeda lo cual es bastante conveniente para efectuar almacenamiento de la fruta.



- Además, si se compara con el secado de frutas sin pretratamiento es mucho mejor, ya que las humedades son menores y el aspecto de la fruta es mucho mejor.

## Contenido de Vitamina C



## Resultados de la deshidratación

- Fruta Fresca



- Fruta Deshidratada



## Conclusiones

- A mayor agitación se obtiene una fruta con menor humedad final, pero con un incremento en la ganancia de solutos en ésta (no es deseable).
- La reutilización de la SO no tiene demasiada influencia en la deshidratación ni la ganancia de solutos, lo que puede ser un factor económico importante porque se puede reutilizar la solución para llevar a cabo una nueva deshidratación.
- El pulso de vacío inicial es un factor preponderante en el tratamiento, ya que es en este periodo en donde ocurre la mayor pérdida de agua por parte de la frambuesa, así como también es en este periodo en el que la frambuesa en vez de ganar solutos por parte del sistema, le entrega solutos al sistema.
- A mayor concentración de sacarosa en el sistema, mayor será la pérdida de agua por parte de la fruta, pero será mayor su ganancia de azúcar.

## Conclusiones

- Disminuir la concentración de azúcar y agregar un gelificante para aumentar la viscosidad de la SO, resultó ser un buen método para acercarse a los valores mínimos de humedad adimensional alcanzados, a la vez que se disminuía la ganancia de azúcar.
- La ubicación de la fruta, junto con sus sensores es importante, ya que el campo de microondas, tiene zonas de mayor y menor temperatura.
- El buscar los puntos de mayor temperatura dentro del campo, en las bandejas, se encuentran los puntos de secado más rápidos a trabajar, para tener menores tiempos de secado. Dado a que las bandejas están fijas.
- Al mantener la temperatura constante se obtiene una fruta con una humedad menor al 10%, lo que demuestra que el secado por microondas es mucho más eficiente que secados convencionales. Aun más si la fruta es pre-tratada osmóticamente.
- Hay que evaluar métodos para disminuir la pérdida de vitamina C.

## Pasos a Seguir

- Estudiar la influencia de gelificantes con el fin de disminuir la ganancia de azúcar a la fruta tratando de mantener la deshidratación.
- Buscar métodos que ayuden a disminuir la pérdida de nutrientes como Vitamina C desde la fruta a la solución o de restituirlo.
- Estudiar la alteración de la textura de la membrana externa mediante el pretratamiento de la fruta con Soda y Etil-Oleato, con el fin de disminuir la pérdida de nutrientes y la ganancia de azúcar.
- Realizar el secado por microondas con movimiento para que la pérdida de humedad de las frutas sea homogéneo, y así tener un tiempo de secado uniforme para todos los puntos del magnético del microondas.
- Haciendo que el agua dentro del microondas no eleve demasiado su temperatura