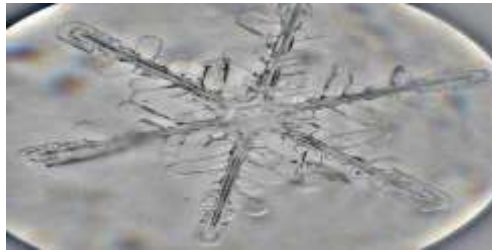




**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

**Escola Superior d'Agricultura de Barcelona**

# **CRIOCONCENTRACIÓ PROGRESIVA EN SOLUCIONES DE SACAROSA**



Trabajo final de grado

Ingeniería alimentaria

Autor: Alexander Ojeda Cuba

Tutor: Eduardo Hernández Yáñez

Castelldefels, 09 de noviembre de 2014

## Resumen

**Palabras clave:** Crioconcentraci3n o concentraci3n en fr3o, cristales de hielo, nucleaci3n, sacarosa, velocidad de giro, subenfriamiento, punto de congelaci3n.

El presente trabajo se centr3 en investigar la influencia e interacci3n de los par3metros de trabajo en la operaci3n de crioconcentraci3n progresiva en soluciones de sacarosa diluida. Se estudia el comportamiento del fluido y sus limitaciones seg3n la concentraci3n de partida, velocidad de giro del agitador y la temperatura de enfriamiento.

En primer lugar se realiz3 ensayos con una concentraci3n inicial de 15 grados Brix, temperatura de -10°C y velocidad de giro nula. El segundo ensayo se realiz3 a la misma concentraci3n, igual temperatura pero cambiando la velocidad de giro a 500rpm, luego con 800 rpm y por 3ltimo 2100rpm. Se repitieron todos los ensayos trabajando a la misma concentraci3n pero con una temperatura de -15°C y -20°C. Luego de terminar con la concentraci3n de 15 grados Brix, se empezaron nuevos ensayos con 25 y 35 grados Brix respectivamente, siguiendo las mismas condiciones de trabajo. Los ensayos se realizaron de tal manera que todas las variables interactuaron entre ellas obteniendo un total de 108 experimentos.

La concentraci3n final m3s elevada que se obtuvo fue de 53 grados Brix, trabajando a una temperatura de -20°C, 2100 rpm y partiendo de una concentraci3n inicial de 35 °Brix. 3sta concentraci3n est3 muy cerca del punto eut3ctico te3rico de la sacarosa.

Los resultados muestran que todos los par3metros de trabajo afectan a la crioconcentraci3n ya sea de forma individual como en interacci3n entre ellos, siendo la variable que tiene mayor impacto la concentraci3n inicial.

La eficiencia de la crioconcentraci3n tuvo un mayor valor partiendo de la concentraci3n de menor cantidad en s3lidos solubles (15°Brix).

## Resum

Paraules clau: Crioconcentració o concentració en fred, cristalls de gel, nucleació, sacarosa, velocitat de gir, subrefredament, punt de congelació.

El present treball es va centrar en investigar la influència i interacció dels paràmetres de treball en l'operació de crioconcentració progressiva en solucions de sacarosa diluïda. S'estudia el comportament del fluid i les seves limitacions segons la concentració de partida, velocitat de gir del sacsejador i la temperatura de refredament.

Primer de tot es van realitzar assajos amb una concentració mínima inicial de 15 graus Brix, temperatura  $-10^{\circ}\text{C}$  i velocitat de gir nul·la. El segon assaig es va realitzar amb la mateixa concentració i temperatura però canviant la velocitat de gir a 500rpm, després amb 800rpm i per últim 2100rpm. Es van repetir tots els assajos treballant amb la mateixa concentració però amb una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  i  $-20^{\circ}\text{C}$ . Quan es va enllestir amb la concentració de 15 graus Brix, es van començar nous assajos amb 25 i 35 graus Brix respectivament, seguint amb les mateixes condicions de treball. Els assajos es van realitzar de tal manera que totes les variables van interactuar entre elles obtenint un total de 108 experiments.

La concentració final més elevada que es va obtenir va ser de 53 graus Brix, treballant a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , 2100 rpm i partint d'una concentració inicial de 35 °Brix. Aquesta concentració està molt a prop del punt eutèctic teòric de la sacarosa.

Els resultats mostren que tots els paràmetres de treball afecten a la crioconcentració ja sigui de forma individual com interactuant entre ells, essent variable que té major impacte la concentració inicial.

La eficiència de la crioconcentració va tenir un major valor partint de la concentració de menor quantitat en sòlids solubles ( $15^{\circ}\text{Brix}$ ).



## **Abstract**

Keywords: freeze concentration or concentration cold, ice crystal nucleation, sucrose, speed, supercooling, freezing.

This work focused on investigating the influence and interaction of working parameters in the operation of progressive freeze concentration in dilute sucrose solutions. Fluid behavior is studied and limitations as the starting concentration, agitator rotational speed and the cooling temperature.

First tests were with an initial concentration of 15 Brix,  $-10^{\circ}\text{C}$  and null speed rotation. The second test was performed at the same concentration, but changing the temperature equal speed to 500 rpm, 800 rpm and then finally 2100rpm. All trials working at the same concentration but at a temperature of  $-15^{\circ}\text{C}$  and  $-20^{\circ}\text{C}$  were repeated. After finishing with the concentration of 15 Brix, new trials with 25 and 35 respectively Brix began, following the same conditions. The assays were performed such that all variables interacted including obtaining a total of 108 experiments.

The highest final concentration obtained was of 53 degrees Brix, working at a temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$ , 2100 rpm and with an initial concentration of  $35^{\circ}$  Brix. This concentration is close to the theoretical eutectic point of sucrose.

The results show that all the working parameters affecting the cryoconcentration either individually or in interaction, being the variable that has the greatest impact the initial concentration.

Cryoconcentration efficiency has a higher value based on the concentration of soluble solids fewer ( $15^{\circ}$  Brix).

## Sumario

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b>	<b>9</b>
<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1. JUSTIFICACIÓN.....	11
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	11
<b>CONCEPTOS BÁSICOS EN LA CRIOCONCENTRACIÓN DE FLUIDOS ALIMENTARIOS.</b>	<b>15</b>
3. CRIOCONCENTRACIÓN.....	15
3.1. TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA.....	16
3.2. CRISTALIZACIÓN .....	17
3.3. SEPARACIÓN DE LOS CRISTALES DE HIELO .....	20
4. SISTEMAS DE CRIOCONCENTRACIÓN.....	21
4.1. CRIOCONCENTRACIÓN POR SUSPENSIÓN.....	21
4.2. CRIOCONCENTRACIÓN POR PELÍCULA .....	22
4.3. CRIOCONCENTRACIÓN POR BLOQUE .....	25
5. PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CRIOCONCENTRACIÓN.....	26
5.1. PUNTO DE CONGELACIÓN. DEPRESIÓN DE PUNTO DE CONGELACIÓN .....	26
5.2. VISCOSIDAD.....	27
5.3. SUBENFRIAMIENTO.....	27
5.4. PUNTO EUTÉCTICO.....	29
<b>ESTRUCTURA DEL TRABAJO</b>	<b>30</b>
6. OBJETIVOS.....	30
7. MATERIALES Y METODOS .....	31
7.1 METODOLOGÍA.....	33
7.2. MATERIALES.....	37
7.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	43
7.4. PARAMETROS ESTUDIADOS.....	44
8. RESULTADOS .....	46
9. DISCUSIÓN GENERAL.....	59
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>



<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>63</b>
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....	67
<b>ANEJOS</b> .....	<b>68</b>



## Índice de figuras

Figura 1. Esquema básico de un proceso de crioconcentración .....	15
Figura 2. Analogía entre la transferencia de calor y masa.....	16
Figura 3. Representación del proceso de congelación, mostrando las diferentes etapas y naturaleza del material congelado.....	18
Figura 4. Tipos de nucleación y su clasificación. ....	19
Figura 5. Sistemas de cristalización.....	21
Figura 6. Esquema básico del sistema de crioconcentración en suspensión.....	22
Figura 7. Cristalización en suspensión (izquierda.) cristalización en capa (derecha.).....	22
Figura 8. Aparato de crioconcentración progresiva.....	23
Figura 9. Crioconcentración en capa.....	24
Figura 10. Funcionamiento de una cristalización en capa.....	24
Figura 11. Diagrama de equipo para una cristalización en bloque. ....	25
Figura 12. Depresión del punto de congelación de la sacarosa, glucosa y zumos de diversas frutas. .....	26
Figura 13. Curva de subenfriamiento.....	27
Figura 14. Curva de congelación. ....	28
Figura 15. Diagrama de fases .....	29
Figura 16. Diagrama experimental.....	33
Figura 17. Esquema del equipo de crioconcentración.....	37
Figura 18. Equipo de crioconcentración. ....	38



Figura 19. Vista frontal del bañu termostàtic. ....	38
Figura 20. Vista trasera del bañu termostàtic ....	39
Figura 21. Agitador. ....	39
Figura 22. Vaso refrigerante. ....	40
Figura 23. Datalogger. ....	40
Figura 24. Refractòmetre DBX-55A. ....	41
Figura 25. Tacòmetre digital PCE-DT62. ....	41
Figura 26. Balança de precisió KB-1200 2N. ....	42
Figura 27. Gràfic de probabilitat normal. ....	51
Figura 28. Histograma de residuos. ....	52
Figura 29. Representació gràfica del Ice mass ratio (W). ....	53
Figura 30. Cinètica de la concentració para -20°C. ....	55
Figura 31. Representació gràfica del coeficient de distribució K. ....	57
Figura 32. Eficiència del equip en funció de la concentració inicial. ....	58



## Índice de tablas

Tabla 1. Comparación entre las tres operaciones más utilizadas para concentrar fluidos alimentarios.....	12
Tabla 2. Porcentaje de concentración logrado por los diferentes equipos de concentración. ....	13
Tabla 3. Resumen de las ventajas de los diferentes procesos de concentración. ....	14
Tabla 4. Diseño experimental.....	31
Tabla 5. Cantidades utilizadas en la disolución.....	34
Tabla 6. Concentraciones finales obtenidas en los ensayos.....	46
Tabla 7. Niveles de cada factor analizados por el modelo lineal general.....	46
Tabla 8. Significancia de cada factor individual, de interacción doble y triple.....	47
Tabla 9. Separación de medias por Tukey para cada factor individual. ....	48
Tabla 10. Separación de medias por Tukey para la interacción triple.....	49
Tabla 11. Coeficientes de regresión y sus p-valores. ....	52
Tabla 12. Intervalos del índice de concentración de los ensayos. ....	54



## Índice de Ecuaciones

Ecuación (7-1) Balance de masa .....	36
Ecuación (9-2) Ice mass ratio (W) .....	44
Ecuación (9-3) Índice de concentració <i>n</i> (IC).....	44
Ecuación (9-4) Coeficiente medio de distribució <i>n</i> K.....	45
Ecuación (9-5). Eficiencia de crioconcentració <i>n</i> (eff).....	45
Ecuación (9-6). Ecuación de regresió <i>n</i> (ER).....	52

## Simbología

Símbolo	Descripción	Unidades
° Brix	Grados brix	% peso de sacarosa
$C_{sh}$	Concentración de sólidos en el hielo	° Brix
$C_{sf}$	Concentración de sólidos en el fluido final	° Brix
$C_{si}$	Concentración de sólidos en el fluido inicial	° Brix
$eff$	Eficiencia del crioconcentrador	%
$IC$	Índice de concentración	
$K$	Coefficiente de distribución	
$T$	Temperatura	° C
$t$	Tiempo	minutos
$V$	Velocidad	m/s
$W$	Ice mass ratio	
[ ]	Concentración	° Brix
ER	Ecuación de regresión	

## INTRODUCCIÓ*N*

### 1. JUSTIFICACIÓ*N*

La inquietud sobre el impacte de los alimentos sobre la salud, así como las consecuencias sociales y medioambientales, ha dado lugar a cambios importantes en todas las etapas de la cadena alimentaria. Este fenómeno comprende tecnologías complejas, vínculos sociales, económicos y ambientales que requieren enfoques integrados de investigación, de acuerdo a los cambios en la demanda de los consumidores (Falguera et al., 2012). En la búsqueda de nuevas operaciones que permitan la transformación de los alimentos, sin que sean afectadas sus cualidades nutricionales y organolépticas, se han generado nuevas tecnologías de procesamiento para transformar los alimentos, permitiendo generar un valor agregado a los productos desarrollados.

### 2. ESTADO DE LA CUESTIÓ*N*.

En la industria de la alimentación siempre es productivo concentrar los fluidos alimentarios. Los objetivos principales de esta concentración son: conservar los productos elaborados, reducir los costos de almacenamiento, transporte y por último, concentrar un fluido como un paso previo de otros procesos, como es la deshidratación, y reducir el riesgo de contaminación microbiana, entre otros.

Existen diversas técnicas que permiten concentrar los fluidos alimentarios: la evaporación, la tecnología de membranas y la crioconcentració*n*. En la siguiente tabla se muestra una comparaci3n entre las tres técnicas que son las más utilizadas para la concentrar fluidos alimentarios.

**Tabla 1. Comparación entre las tres operaciones más utilizadas para concentrar fluidos alimentarios.**

	Evaporación	Tecnología de membranas	Crioconcentración
Fundamento	Extracción de agua mediante ebullición.	Filtración de agua y retención de sólidos suspendidos.	Congelación parcial del producto que se desea concentrar.
Aspectos favorables	Técnica más utilizada, por ende más optimizada.	No existe pérdida de sustancias termolábiles, pocas exigencias de espacio y fácil de automatizar.	No existe pérdida de sustancias volátiles, separa agua del alimento sin alterar las propiedades organolépticas.
Aspectos desfavorables	Degradación térmica de los fluidos alimentarios	Inversión elevada, membranas de duración limitada y susceptible a cambios de pH y temperatura elevadas, riesgo de contagio microbiano.	Elevados costos de producción.

Fuente: Hernández, 2008.

El presente trabajo se centrará en la crioconcentración como método de concentración de fluidos alimentarios.

Dentro de los métodos existentes para concentrar alimentos líquidos, la crioconcentración, es una de las técnicas que presenta mayores ventajas para la obtención de productos de alta calidad sin pérdida apreciable en su sabor, aroma, color o valor nutritivo (Otero et al., 2012).

Las ventajas más grandes de utilizar la crioconcentración en lugar de otras tecnologías de concentración están relacionadas con las bajas temperaturas a las que se lleva a cabo el proceso y a la inexistencia de una interface líquido-vapor. No hay pérdida de compuestos volátiles, lo que hace que esta técnica sea muy adecuada para concentrar fluidos termosensibles (Fellows, 1993). Se pretende que el hielo formado sea muy puro, es decir, que esté formado exclusivamente por agua, sin retención de sólidos. La separación de este hielo tiene como finalidad conseguir un producto líquido concentrado (Vitagliano, 1992).



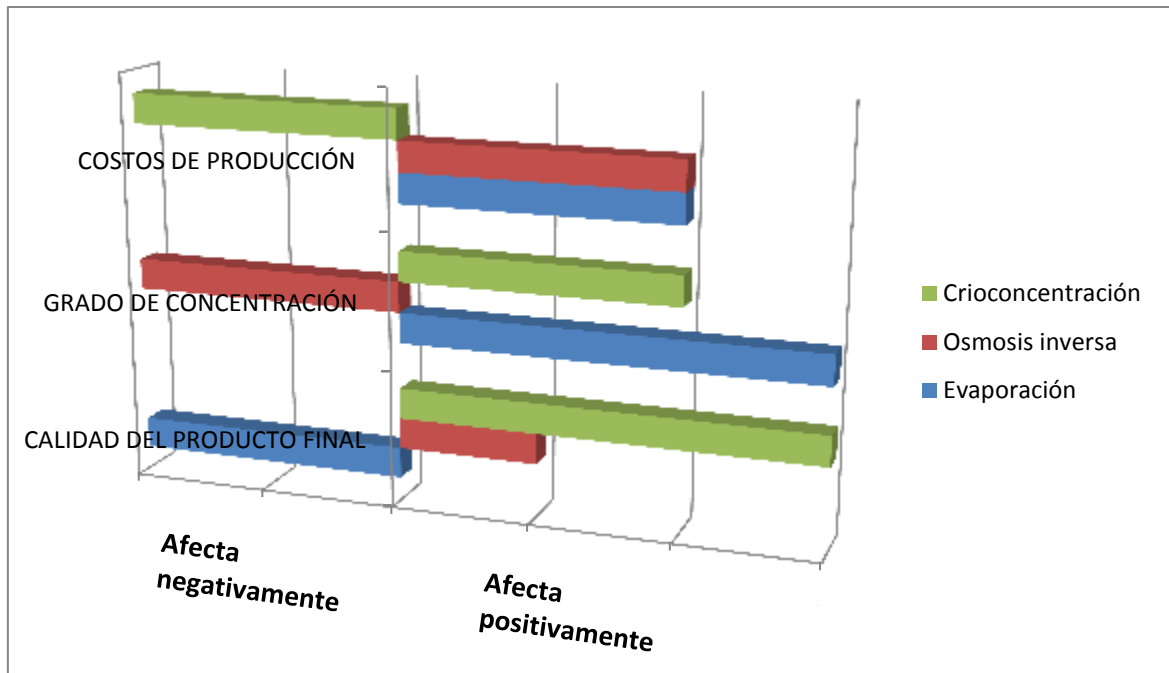
Los primeros estudios que hablan del proceso de crioconcentració*n* se encuentran en los años cincuenta. Al principio, el uso de esta tecnologí*a* en la industria no resultaba viable, porque tanto los costes de inversi*o*n como los de operaci*o*n eran muy elevados. Sin embargo, el estudio del proceso de crioconcentració*n* fue favorecido en algunos casos en los que el proceso de evaporaci*o*n no era suficientemente efectivo.

Se vio la necesidad de estudiar la aplicaci*o*n de la crioconcentració*n* a la concentraci*o*n de zumos de frutas, ya que la calidad de los zumos evaporados era baja, sobre todo teniendo en cuenta la baja retenci*o*n de aromas. En la industria quí*m*ica su aplicaci*o*n fue muy favorecida por el hecho de que evaporando no era posible separar determinados isó*m*eros con puntos de evaporaci*o*n muy cercanos. El uso de la crioconcentració*n* para tratar aguas residuales es otro ejemplo donde la crioconcentració*n* resulta más efectiva que otros procesos como la evaporaci*o*n o la destilaci*o*n (Heist, 1979).

**Tabla 2. Porcentaje de concentraci*o*n logrado por los diferentes equipos de concentraci*o*n.**

EQUIPO	PORCENTAJE DE CONCENTRACI <i>O</i> N (%)
Evaporador de pelí <i>c</i> ula	75-85
Evaporador de placas	65-75
Evaporador de pelí <i>c</i> ula descendente	65-75
Crioconcentració <i>n</i>	45-55
Ósmosis inversa	15-25

Fuente: Van Weelden, 1994

**Tabla 3. Resumen de las ventajas de los diferentes procesos de concentración.**

Fuente: Elaboración propia a partir de Van Weelden, 1994.

## CONCEPTOS BÁSICOS EN LA CRIOCONCENTRACIÓN DE FLUIDOS ALIMENTARIOS.

### 3. CRIOCONCENTRACIÓN.

La crioconcentración es una operación unitaria de separación para concentrar líquidos por medio de la congelación y la posterior separación de una fracción de agua congelada lo más pura posible. El proceso implica la reducción controlada de la temperatura de la solución de interés, por debajo de su punto de congelación, esto con el fin de evitar alcanzar la temperatura eutéctica en la que todos los componentes del producto se solidificarían a la vez (Raventós et al., 2007).

#### ESQUEMA GENERAL.

Los componentes básicos de un sistema de concentración incluyen un sistema para la nucleación de los cristales de hielo y su crecimiento posterior hasta que tenga un tamaño suficiente para separarlos. Se requiere frío para proporcionar la fuerza conductora necesaria para la cristalización del hielo. Existen diferentes configuraciones de este proceso básico, en la figura 1 se puede observar un esquema general de la crioconcentración.



Figura 1. Esquema básico de la crioconcentración

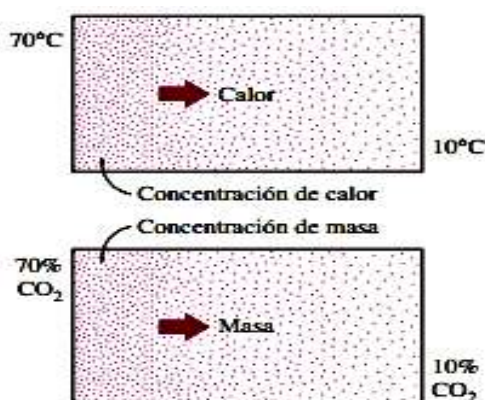
Fuente: Elaboración propia a partir de Berk et al., 2009.



### 3.1. TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA.

La cristalización principalmente es un proceso de transferencia de calor y masa. La transferencia de calor se debe a una diferencia de temperatura, por lo tanto, se presenta cuando existe falta de homogeneidad en la distribución de la temperatura dentro de una material o entre un material y lo que le rodea.

La transferencia de calor por las moléculas está presente en cierto grado en todos los sistemas en los que existen gradientes de temperatura y en los que están presentes moléculas de un sólido, líquido o gas.



**Figura 2. Analogía entre la transferencia de calor y masa.**

Fuente: Mcgraw-Hill.com

En la crioconcentración, la transferencia de calor es por convección e implica el intercambio de energía entre una superficie y un fluido adyacente y, la transferencia de masa implica la transferencia de especies en una mezcla, debido a una diferencia de concentración.

En la figura 2 se puede ver la temperatura como una medida de la “concentración del calor”, de este modo, la región con mayor temperatura es aquella que tiene una alta concentración de calor. Por lo tanto, tanto el calor, como la masa, se transfieren de las regiones más concentradas hacia las menos concentradas. Si no hay diferencia de temperatura entre las dos regiones, entonces no existe transferencia de calor. De modo semejante, si no existe diferencia entre las concentraciones de una especie en regiones diferentes de un medio, no habrá transferencia de masa.

Lo que ocurre en un proceso de crioconcentració es que existe un intercambio de temperatura entre el fluido a concentrar y el equipo refrigerante (calor), y un intercambio de concentració de solutos entre el hielo y el fluido a concentrar (masa).

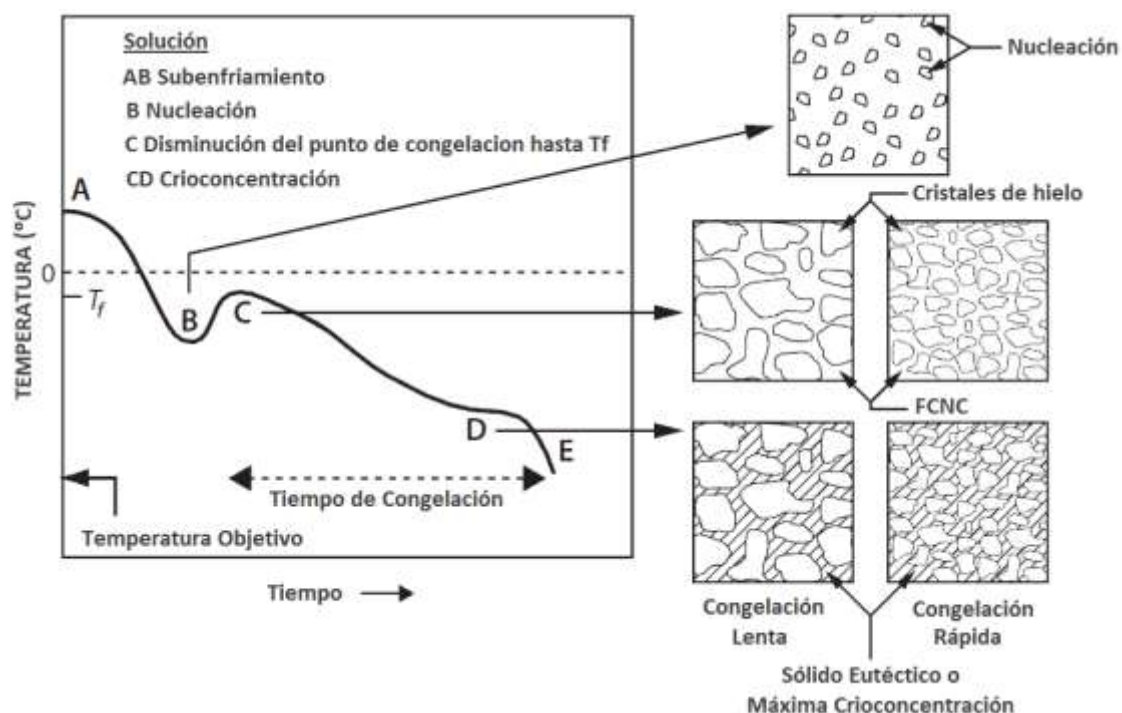
### **3.2. CRISTALIZACIÓ**

La cristalizaci3n es un proceso que consiste en realizar una nucleaci3n y posterior crecimiento de los n3cleos formados. Se pueden incluir 3 etapas en este proceso:

La nucleaci3n (formaci3n de una estructura cristalina min3scula estable), el crecimiento o propagaci3n del cristal hasta alcanzar un equilibrio y la maduraci3n o reorganizaci3n de la estructura cristalina (Roos, 1995a).

Durante el proceso de cristalizaci3n (Figura 3 ) se presenta una disminuci3n de la temperatura hasta el subenfriamiento, por debajo del punto de fusi3n, una vez que la masa cr3tica de los n3cleos es alcanzada, el sistema nuclea (B) liberando el calor latente m3s r3pido que el calor que est3 siendo retirado del sistema (Akyurt et al., 2002); seguida por una congelaci3n de la masa total (C y D), que representa el tiempo o la duraci3n de congelaci3n; finalmente, la soluci3n se congela totalmente llegando a la temperatura del medio refrigerante (Kiani&Sun, 2011). Estos procesos son acompa1ados por una reducci3n en el contenido cal3rico del material, disminuyendo las velocidades de las reacciones (Petzold& Aguilera, 2009).

Durante la etapa de congelaci3n, la fase concentrada no congelada (FCNC) es crioconcentrada. Por tanto, la velocidad de enfriamiento determinar3 el n3mero de n3cleos formados y el tama1o del cristal de hielo. Despu3s que la cristalizaci3n se completa, la temperatura desciende liber3ndose la energ3a como calor sensible (D a E), donde la fracci3n no congelada cristaliza (punto eut3ctico) o se convierte en una matriz m3ximamente crioconcentrada (Singh et al., 2009).



**Figura 3. Representación del proceso de congelación, mostrando las diferentes etapas y naturaleza del material congelado.**

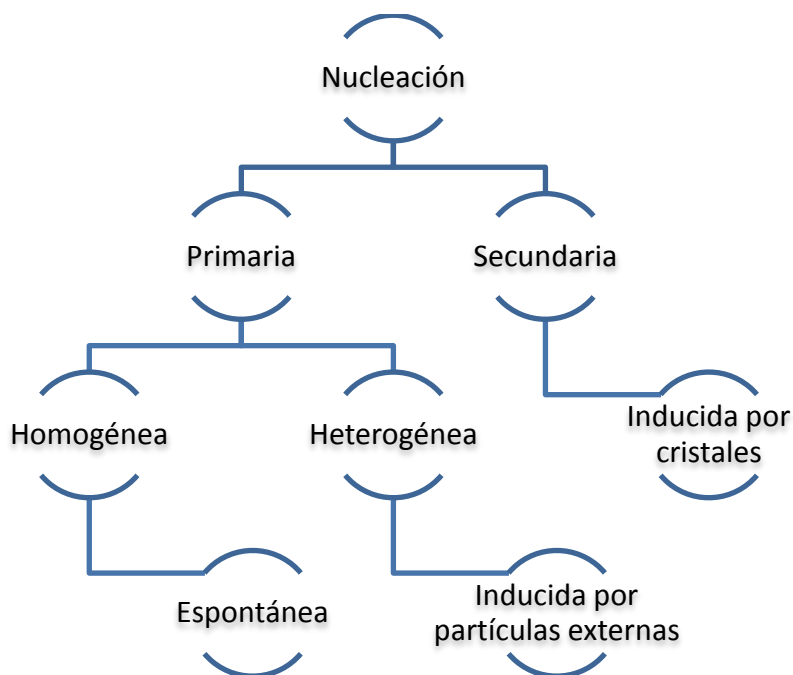
Fuente: Adaptado de Singh K.S, 2009.

### **Nucleación.**

La nucleación es probablemente el paso más importante para controlar la distribución del tamaño de cristal durante la cristalización. La velocidad de congelación es generalmente el parámetro que se utiliza para controlar el tamaño y la distribución de los cristales de hielo en el sistema (Petzold & Aguilera, 2009).

La nucleación consiste en la generación de pequeñas partículas estables capaces de crecer espontáneamente, para que esto suceda se requiere que las partículas alcancen un tamaño mínimo definido mediante un radio crítico (Mullin, 2001b).

En la figura 4 se puede observar los tipos de nucleación, la primaria y la secundaria:



**Figura 4. Tipus de nucleació i su classificació.**

Fuente: Mullin, 2001a.

La nucleació primària pot produir-se de manera homogènea o heterogènea. La nucleació primària homogènea es presenta generalment en solucions puras o lliures de impurezas, a través d'un procés pel qual les molècules d'aigua s'ordenen de forma espontànea sense la intervenció de la interfície sòlido-líquido; mentre que la nucleació primària heterogènea implica la presència d'impurezas aglomerades interactuant al voltant de les partícules d'aigua (Roos, 1995a).

La nucleació secundària ocorre en la presència de cristalls existents en la solució. Aquests nous nuclis poden formar-se per diversos mecanismes, entre els quals destaca el xoc dels cristalls entre si i amb les superfícies dels recipients on estan continguts (Mullin, 2001b).

La nucleació heterogènea és més probable que ocorri en els aliments degut a la presència d'impurezas (Roos, 1995a).

**Crecimiento de los cristales.**

Seguida de la nucleación está el crecimiento de cristales. Este crecimiento requiere que las moléculas sean capaces de difundirse a la superficie de los núcleos de crecimiento. La velocidad del proceso es muy sensible a la medida de sobresaturación o subenfriamiento, la temperatura y la presencia de impurezas (Roos, 1995a). El crecimiento es controlado por la tasa de calor latente que se libera durante el cambio de fase y por la velocidad de transferencia de masa (Petzold & Aguilera, 2009). Mientras que la cantidad de cristales de hielo aumenta y la temperatura disminuye, la concentración del soluto de la FCNC aumenta llegando a cierta concentración máxima de solutos en la que la cristalización se detiene y la matriz no congelada vitrifica (Orrego 2008).

**Recristalización.**

La recristalización es el cambio en el número, tamaño, forma, orientación o perfección de los cristales después de finalizada la solidificación inicial (Orrego 2008). Es el proceso en el cual, con el paso del tiempo, el promedio del tamaño de los cristales de hielo aumenta y su número disminuye por efecto de la redistribución del agua desde los pequeños cristales de hielo hacia los grandes (Petzold & Aguilera, 2009).

**3.3. SEPARACIÓN DE LOS CRISTALES DE HIELO**

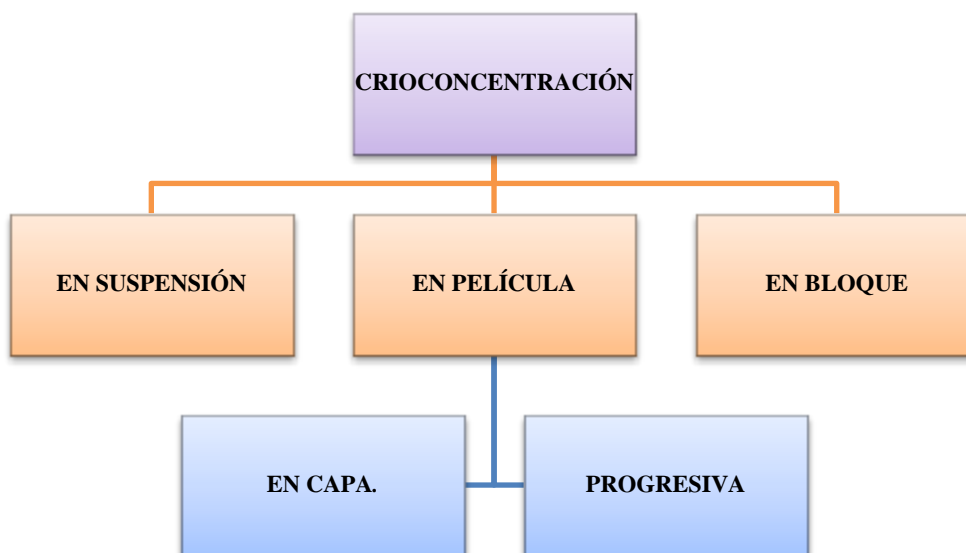
Cuando los cristales estén establecidos, éstos tienen que separarse eficientemente del fluido concentrado. En la actualidad existen diversos métodos para separar los cristales de hielo concentrado. Ésta separación se puede realizar de forma continua o discontinua en prensas centrífugas, en columnas de lavado o mediante una combinación de éstos métodos.

En cualquier caso, la capacidad de separación es inversamente proporcional a la viscosidad del concentrado y directamente proporcional al cuadrado del diámetro de los cristales.



#### 4. SISTEMAS DE CRIOCONCENTRACIÓ*N*.

Principalmente se han desarrollado tres técnicas para crioconcentrar fluidos alimentarios (figura 5): Crioconcentració*n* en Suspensió*n*, Crioconcentració*n* en Película (Sánchez et al., 2009) y Crioconcentració*n* en Bloque (Aider et al., 2009).



**Figura 5. Sistemas de cristalizaci3n.**

Fuente: Moreno, 2012.

##### 4.1. CRIOCONCENTRACIÓ*N* POR SUSPENSIÓ*N*

En los sistemas de cristalizaci3n por suspensió*n*, los cristales de hielo crecen en soluciones con un poco de subenfriamiento (Flesland, 1995b). Entre la superficie del cristal en crecimiento y la soluci3n, se establecen gradientes de temperatura y concentraci3n.

El sistema consta de una fase inicial de formaci3n del hielo (nucleaci3n), seguido por una segunda fase que implica el crecimiento de los núcleos de hielo en la soluci3n (Sánchez et al., 2009), lo que conduce a una cristalizaci3n parcial del agua y la posterior separaci3n de los cristales de la concentraci3n (Thijssen 1986).

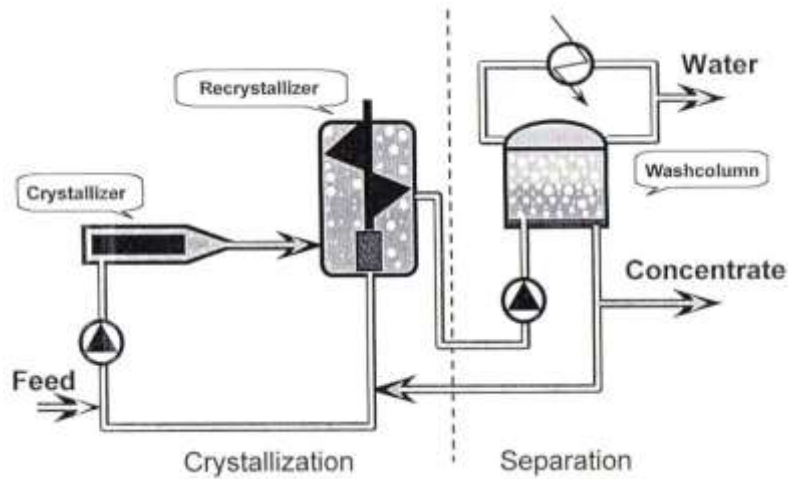


Figura 6. Esquema básico del sistema de crioconcentración en suspensión.

Fuente: NIRO.

#### 4.2. CRIOCONCENTRACIÓN POR PELÍCULA

A diferencia del método de suspensión, la crioconcentración en película consiste en la formación de un cristal único de hielo (figura 7), el cual se forma capa por capa en la superficie de intercambio de calor (en lugar de muchos cristales de hielo como en la crioconcentración por suspensión), de modo que la separación entre el cristal de hielo y la solución madre sea más fácil y se realice en el mismo equipo (Raventós et al., 2007).

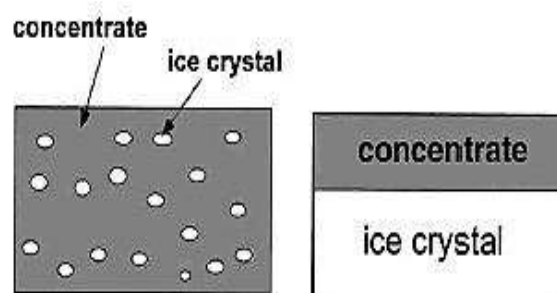
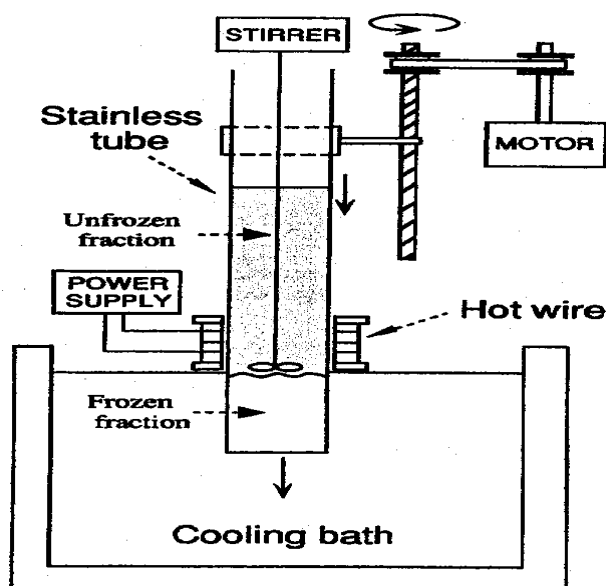


Figura 7. Cristalización en suspensión (izquierda.) cristalización en capa (derecha.)

Fuente: Miyawaki, 2001.

La direcció del creixement del cristall tendeix a ser paral·lela a la direcció de la transferència de calor. La ventaja de esta técnica es que possibilita que el hielo permanezca unido a la superficie de intercambio de calor, mientras la solución fluye, lo que simplifica la etapa de separación de las fases (Ratkje et al., 1995).

De acuerdo a las investigaciones, se han estudiado dos técnicas para la crioconcentración por película: Crioconcentración progressiva (figura 8) y Crioconcentración en capa (figura 9). La diferencia entre estas dos técnicas radica en los equipos que se utilizan para la formación de las capas de hielo. La progressiva implica la cristalización en la parte inferior o lateral del recipiente o tubería, mientras que en la de capa la cristalización ocurre en unas placas (Sánchez et al., 2009).



**Figura 8.** Aparato de crioconcentración progressiva.

Fuente: Miyawaki, 2001.

En la cristalización en capa se consigue la formación de una capa de hielo sobre una superficie fría, de manera que su separación es más fácil.



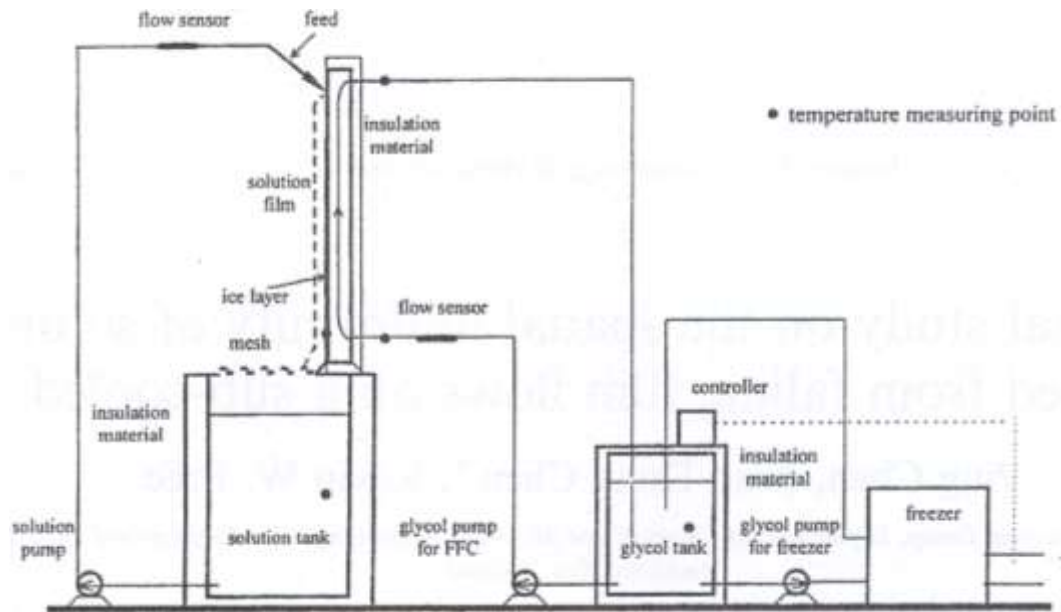


Figura 9. Crioconcentración en capa.

Fuente: Chen, 1999.

Desde el punto de vista del desarrollo de nuevos equipos, el método de cristalización en capa presenta más ventajas que el de suspensión, porque su estructura es mucho más sencilla. Así mismo, desde el punto de vista de la separación, resulta más interesante ya que se obtiene menos superficie por unidad de volumen. En la figura 10 se observa el porcentaje de solutos en la fase líquida y en el hielo a medida que avanza la crioconcentración.

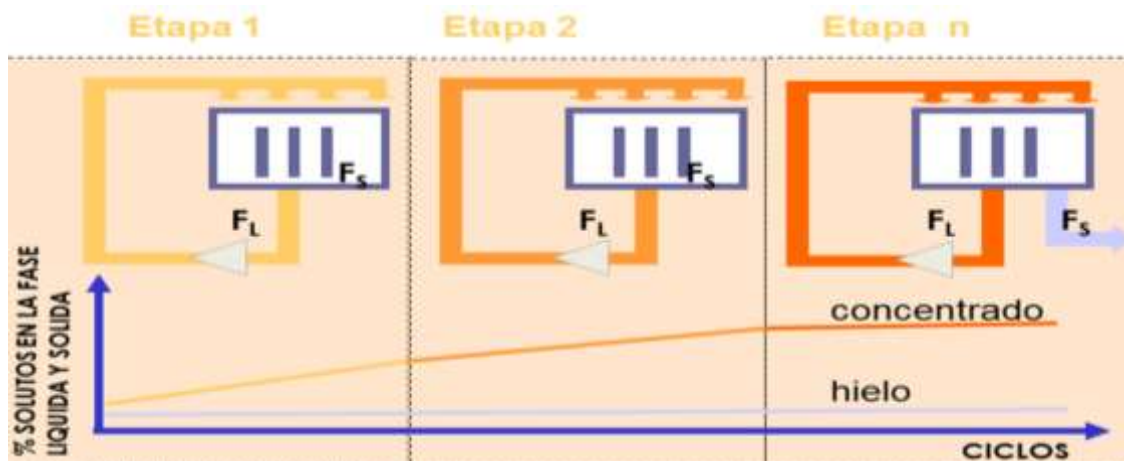


Figura 10. Funcionamiento de una cristalización en capa.

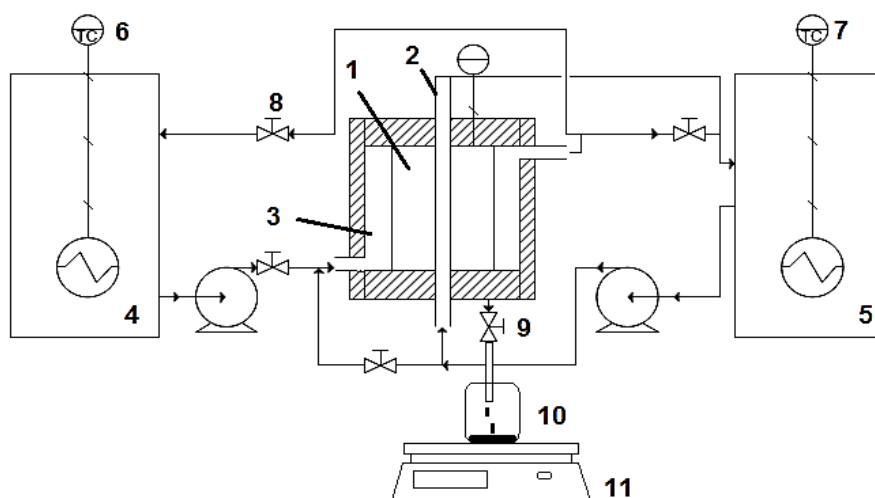
Fuente: Duarte, S; Raventós, M. 2003.



### 4.3. CRIOCONCENTRACIÓN POR BLOQUE

En este tipo de crioconcentración, el fluido se congela completamente y la temperatura del centro del producto se encuentra por debajo del punto de congelación. Posteriormente el bloque, es descongelado y la fracción concentrada se separa de la fracción de hielo por gravedad, la cual puede ser asistida por otras técnicas para mejorar su eficiencia (Aider et al., 2009). La crioconcentración en bloque ha sido catalogada como una tecnología prometedora y eficaz de concentración, para producir fluidos alimentarios concentrados con altas propiedades organolépticas y valor nutricional elevado. Una de las principales ventajas de esta técnica es la ausencia de partes móviles, como agitadores o bombas, lo que hace que sea una tecnología prometedora en lo que a costos de producción se refiere.

En la figura 11 se observa un diagrama con el equipo de crioconcentración en bloque, que consta de un recipiente cilíndrico (1), una camisa interna (2) y externa (3), baños termostáticos (4 y 5) provistos de controles de temperatura (6 y 7), válvulas de control (8 y 9), recipiente de recogida de la muestra (10) y balanza para registrar el peso (11).



**Figura 11. Diagrama de equipo para una cristalización en bloque.**

Fuente: Moreno et al., 2014.

Una dificultad primordial a resolver en esta técnica es la baja eficiencia en recuperación de solutos que puede presentar por diversos fenómenos, como por ejemplo, la morfología del hielo.

## 5. PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CRIOCONCENTRACIÓN.

Se tiene que considerar los parámetros básicos que afectan directamente en la crioconcentración, para realizar una valoración acertada de los ensayos.

### 5.1. PUNTO DE CONGELACIÓN. DEPRESIÓN DE PUNTO DE CONGELACIÓN

Las soluciones con un peso molecular bajo (como es el caso de la sacarosa) provocan un cambio termodinámico en el punto de congelación del líquido. Esto significa que en lugar de congelarse a 0°C, muchos alimentos líquidos se congelan a temperaturas inferiores, dependiendo de la concentración y del tipo de solido que conforma la disolución. Cuanto más elevada sea la concentración, más disminuye el punto de congelación. Ésta depresión del punto de congelación continúa hasta el punto eutéctico (para cada soluto) donde la fracción sólida y la líquida tienen la misma composición.

En la figura 12 se puede apreciar cómo va disminuyendo el punto de congelación de una solución de sacarosa, glucosa y diversos zumos de frutas al ir aumentando progresivamente la concentración.

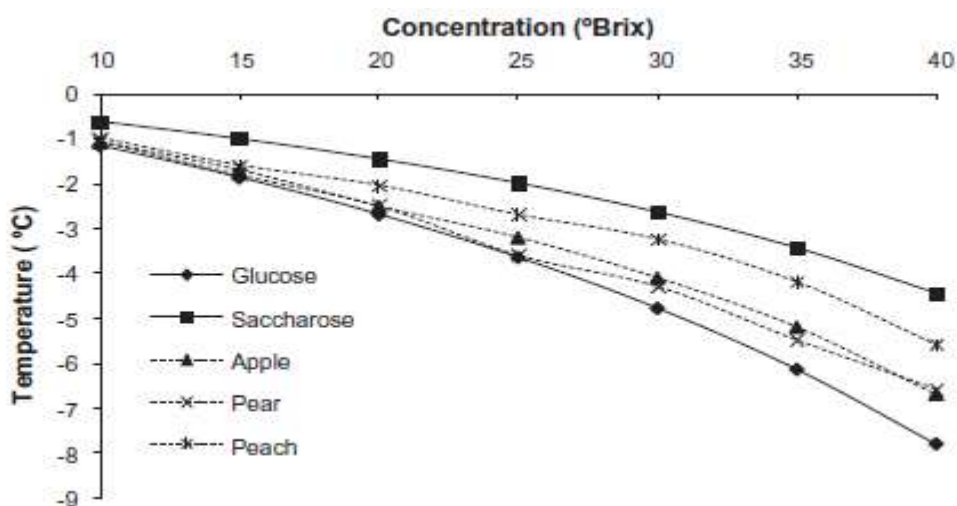


Figura 12. Depresión del punto de congelación de la sacarosa, glucosa y zumos de diversas frutas.

Fuente: Auleda et al. , 2008.



Esta es una de las propiedades f3sicas m3s importantes de los fluidos alimentarios en el dise1o de procesos de congelaci3n (Schwartzberg, 1976).

### 5.2. VISCOSIDAD.

A medida que la concentraci3n de los alimentos aumenta, la viscosidad tambi3n lo hace ya que 3sta se incrementa en funci3n del descenso de la temperatura y del aumento de la concentraci3n. Una viscosidad elevada afecta a las propiedades de la cristalizaci3n, impide el lavado de cristales y dificulta la separaci3n de la soluci3n (Ramteke, 1993).

La capacidad del mecanismo de separaci3n para separar el hielo del concentrado es inversamente proporcional a la viscosidad del producto.

El coeficiente de difusi3n del agua disminuye, con lo que es m3s dif3cil su separaci3n del soluto.

### 5.3. SUBENFRIAMIENTO.

Durante el proceso de enfriamiento se observa una disminuci3n de la temperatura de la soluci3n hasta llegar a un valor m3nimo (momento en el que se inicia la nucleaci3n), seguido de un r3pido incremento de la temperatura a causa del calor latente (calor necesario para transformar un 1Kg de agua en hielo sin variaci3n de temperatura 80Kcal/Kg) cedido en el cambio de estado. Esta diferencia de temperatura es el **subenfriamiento**. (Figura 13)

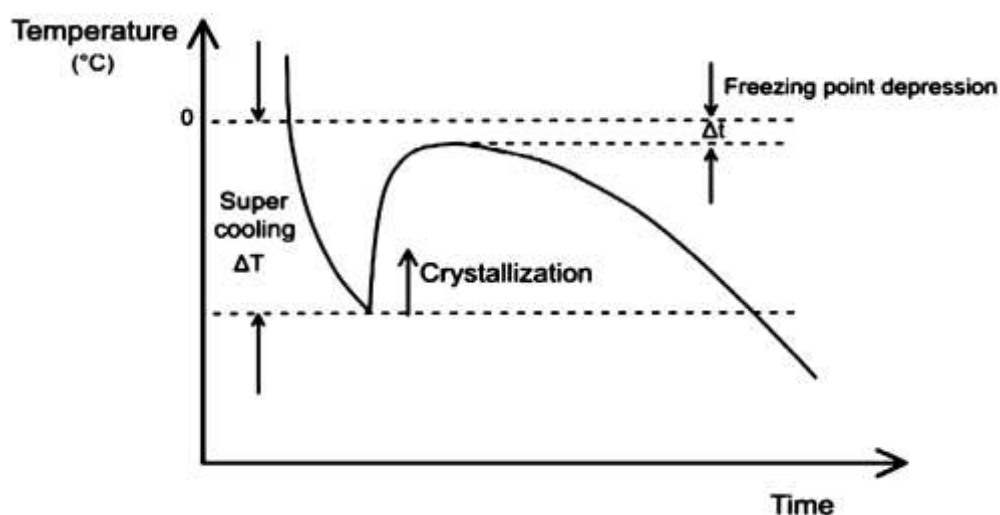
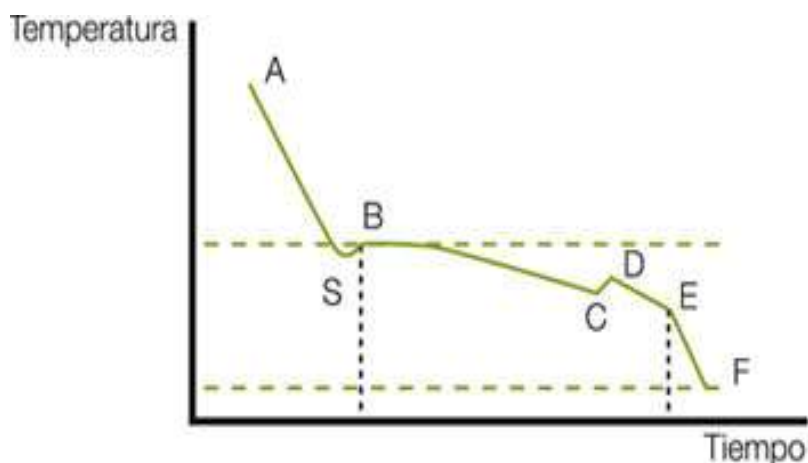


Figura 13. Curva de subenfriamiento.

Fuente: Hernandez, 2008.

La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación. En la figura 14 se observa la curva de congelación típica de una solución.

Esta curva incluye las siguientes secciones:



**Figura 14. Curva de congelación.**

Fuente: Mundohvacr.com

AS: la solución se enfría por debajo de su punto de congelación inferior a  $0^{\circ}\text{C}$ . En el punto S, al que corresponde una temperatura inferior al punto de congelación, el agua permanece en estado líquido. Este **subenfriamiento** puede alcanzar los  $10^{\circ}\text{C}$  por debajo del punto de congelación del agua.

SB: la temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, ya que al formarse los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que éste se extrae del alimento.

BC: el calor se elimina a causa de la formación de hielo, permaneciendo la temperatura prácticamente constante. El incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provoca el descenso del punto de congelación, por lo que la temperatura disminuye ligeramente. Esta es la fase en la que se forma mayor cantidad de hielo.

CD: uno de los solutos alcanza sobre-saturación y cristaliza. La liberación del calor latente correspondiente, provoca el aumento de la temperatura hasta la temperatura eutéctica del soluto.

DE: la cristalización del agua y los solutos continúa.

EF: la temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende.

#### 5.4. PUNTO EUTÉCTICO

Los diagramas de fase (figura 15) muestran las regiones de temperatura y concentración donde la crioconcentració es factible. Si el proceso de congelación se realiza a temperatura muy baja o la concentració crece demasiado, el hielo no cristaliza en forma pura y se forma una mezcla de sólidos. Por debajo de este punto eutéctico, la fase sólida tiene la misma composición que la líquida, y la separación no sería factible. El punto eutéctico a partir de las curvas de enfriamiento resulta difícil de determinar a causa del cambio entálpico (Rahman 2002). Publicaciones científicas ponen el límite a 54 % de concentració (Chandrasekaran, 1971)

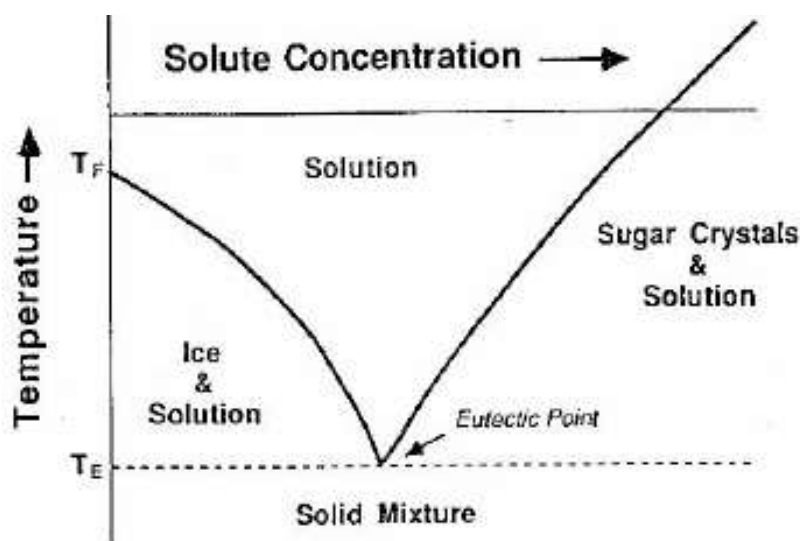


Figura 15. Diagrama de fases

Fuente: Hartel, 1992.

## ESTRUCTURA DEL TRABAJO

### 6. OBJETIVOS

Determinar los efectos de los factores (concentración inicial de la solución, la temperatura refrigerante y la velocidad de giro) y los parámetros de trabajo (Ice mass ratio, índice de concentración, coeficiente medio de distribución y eficiencia de la crioconcentración) en la crioconcentración progresiva de soluciones de sacarosa.

#### Objetivos específicos:

- Explorar los límites de concentración de soluciones de sacarosa en un equipo de crioconcentración progresiva, de contacto indirecto con enfriamiento externo.
- Analizar el efecto de los factores (concentración inicial de la solución, la temperatura refrigerante y la velocidad de giro), sobre los parámetros de crioconcentración estudiados (Ice mass ratio, índice de concentración, coeficiente medio de distribución y eficiencia de la crioconcentración)
- Establecer las condiciones óptimas de trabajo del proceso de crioconcentración progresiva en el equipo ensayado.
- Establecer una expresión general que permita predecir la concentración final de la solución a partir de los elementos de entrada: concentración inicial, temperatura y velocidad de giro.

## 7. MATERIALES Y METODOS

### PLAN DE TRABAJO

Para conseguir los objetivos descritos, el plan de trabajo realizado es el siguiente:

- a. Investigación y revisión bibliográfica sobre la crioconcentració*n* de fluidos alimentarios.
- b. Equipar una instalació*n* de crioconcentració*n* progresiva convencional con materiales cedidos por la planta piloto de industrias alimentarias de la escuela superior de agricultura de Barcelona (ESAB).
- c. Puesta en marcha de la instalació*n* y fijar las condiciones de funcionamiento (rango de temperatura, concentració*n* inicial, velocidades de giro, cantidad utilizada de la solució*n* y la duració*n* de los ensayos)
- d. Diseño experimental.

[ ] Brix	T°	rpm	n° de ensayos
15	-10	0	3 repeticiones
25	-15	500	
35	-20	800	
		2100	

Donde, para cada concentració*n* inicial de grados Brix, la ruta que seguía la disolució*n* inicial era el que se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4. Diseño experimental.**

°Brix	Temperatura (°C)	Velocidad de giro (rpm)	Repeticiones
15	-10	0	3
		500	3
		800	3
		2100	3
	-15	0	3
		500	3
		2100	3
	-20	0	3
		500	3
		800	3
		2100	3



En primer lugar se empezó por una concentración inicial de 15 grados Brix, temperatura -10°C y velocidad de giro nula.

El segundo ensayo se realizó a la misma concentración y a la misma temperatura pero cambiando la velocidad de giro a 500rpm y así sucesivamente hasta llegar a una velocidad de 2100rpm. Se trabajó de tal manera que todas las variables interactuaron entre ellas obteniendo un total de 108 experimentos:

$$\text{Número de experimentos} = 3[\text{Brix}] \cdot 3 T^{\circ} \cdot 4 \text{ rpm} \cdot 3 n^{\circ} \text{ de ensayos} = 108.$$

Las muestras se tomaron con una pipeta Pasteur para obtener los grados Brix mediante un refractómetro y la temperatura mediante un termómetro proporcionado de una sonda que era introducida en el centro la solución.

De acuerdo con la experiencia previa en ensayos realizados con equipos de placa, se fijó la duración de los ensayos en 90 minutos. Los parámetros de trabajo (temperatura de la solución y concentración Brix) se midieron cada 10 minutos.

- e. Los datos fueron introducidos en un PC para Su análisis estadístico con el software Minitab.



### 7.1 METODOLOGÍA.

La metodología experimental de los ensayos realizados se indica de forma general y esquemática en la siguiente figura 16.

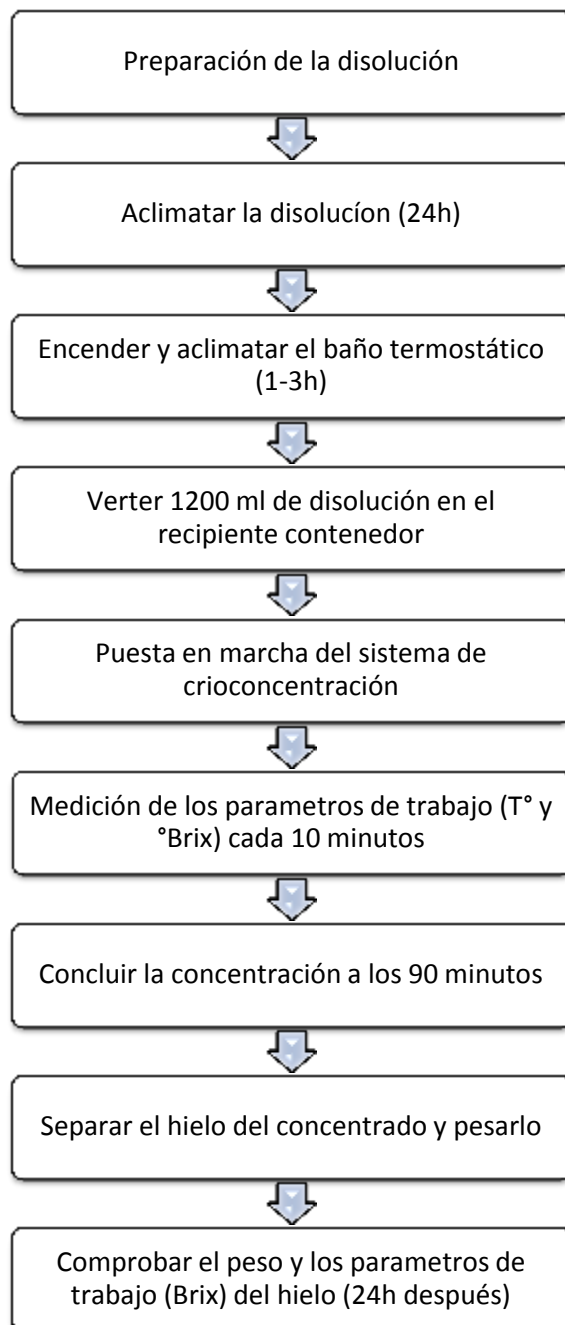


Figura 16. Diagrama experimental.

A continuación se describirá detalladamente el organigrama desarrollado.

- **Preparación de la disolución**

Se trabajó con 3 disoluciones base de 15, 25 y 35 grados Brix.

Para ello, la disolución se realizó diluyendo sacarosa y agua destilada obteniendo al final 1200 ml de solución. Las cantidades utilizadas se especifican a continuación en la tabla 5.

**Tabla 5. Cantidades utilizadas en la disolución.**

Sacarosa (g)	Agua destilada (ml)	Solución final (ml)	[Brix]
180	1020	1200	15
300	900	1200	25
420	780	1200	35

- **Aclimatación de la disolución.**

Una vez preparada la disolución, se atemperó durante 24 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de 1°C con la finalidad de facilitar las condiciones de trabajo en la crioconcentración.

- **Encender y aclimatar el baño termostático (1,5 -3h)**

Cada ensayo tiene una duración de 90 minutos, previamente el baño termostático se aclimató a la temperatura requerida para iniciar los ensayos. Para trabajar con -10 °C el tiempo de aclimatación fue de 60-70 minutos aproximadamente, para trabajar con -15°C el tiempo fue de 90-100 minutos y por último, para empezar a trabajar con -20°C el tiempo de aclimatación fue de 120-150 minutos.

- **Verter 1200 ml de disolución en el recipiente contenedor.**

Al estar el baño termostático aclimatado a la temperatura requerida, se procede a retirar de la cámara frigorífica la solución e inmediatamente introducirla en el recipiente contenedor que es parte del sistema de crioconcentración.



El tiempo entre retirar la soluci3n de la c3mara frigor3fica y verterla en el recipiente contenedor es inferior a 1 minuto para evitar que los cambios de temperatura interfieran en el trabajo. Antes de empezar a crioconcentrar, se miden los par3metros de trabajo (temperatura y grados Brix).

- **Puesta en marcha del sistema de crioconcentraci3n**

De acuerdo a las condiciones de trabajo y una vez vertida la soluci3n en el recipiente, se dispone a encender el agitador proporcionado de una varilla met3lica agitadora y empezar el proceso de crioconcentraci3n. Para asegurar la fiabilidad del aparato agitador se calibr3 la velocidad de giro (rpm) mediante un tac3metro digital PCE-DT62, las velocidades de giro utilizadas fueron 500, 800 y 2100 rpm que corresponden a los niveles 1,2 y 3 del aparato agitador. Previamente se realizaron los mismos ensayos con velocidad nula para observar el comportamiento del fluido sin ning3n tipo de agitaci3n. Para evitar transferencia de calor con el exterior a trav3s del recipiente de vidrio, se dise1n3 un envoltorio aislante de polietileno. Asimismo, se fabric3 una cubierta de poliestireno que sirvi3 como tapa del recipiente de vidrio, de esta manera se evit3 transferencia de masa (fluido alimentario), que provoca la agitaci3n, con el exterior.

- **Medici3n de los par3metros de trabajo.**

Se midieron de los par3metros de trabajo (temperatura y grados Brix) cada 10 minutos. Los grados Brix se realizaron por triplicado.

Al empezar el proceso de crioconcentraci3n, se dispone de un term3metro digital testo 925 con sonda de aluminio y una pipeta Pasteur de vidrio para medir los par3metros de trabajo.

- **Concluir la concentración a los 90 minutos.**

Una vez concluidos los 90 minutos, se retiró la varilla agitadora de la solución, y se midió por último, los parámetros de trabajo, 9 en total.

- **Separar el hielo del concentrado y pesarlo.**

Una vez medidos los parámetros de trabajo, se procedió a la separación de la solución concentrada resultante del ensayo. Para ello, la solución se vertió en un recipiente de plástico previamente filtrada por una tela y un colador metálico. Una vez separado el hielo del fluido concentrado, se midió los grados Brix de la solución final. El hielo resultante se pesó y almacenó en un recipiente de plástico a temperatura ambiente para ser medidos posteriormente. También se comprobó el balance de masa.

$$\text{Solución inicial (g)} = \text{Peso hielo(g)} + \text{Peso concentrado(g)}. \quad (7.1)$$

- **Comprobación del peso y los parámetros de trabajo del hielo.**

Transcurridas 24 horas y antes de empezar un nuevo ensayo, se pesó el hielo formado ahora en estado líquido para comprobar si guardaba relación con el peso anterior y, se midieron los grados Brix retenidos en el hielo.



## 7.2. MATERIALES.

El sistema de crioconcentraci3n descrito en la figura 17 consta de un recipiente de vidrio recirculante (6) de dimensiones dentro del cual circula de manera continua a trav3s de unos conductores de goma de entrada (3) y de salida (4), una mezcla de etilenglicol-agua 50% (p/p) como fluido refrigerante (9). La temperatura y recirculaci3n del fluido est3n controladas por un ba1o termost3tico (1) provisto de un regulador de temperatura (2). La agitaci3n del fluido necesario para la concentraci3n est3 a cargo de un agitador de base (5) provisto de un regulador de rango de velocidad de giro (7) de 500 a 5000 rpm. Est3 provisto de una varilla met3lica (11) que est3 en contacto directo con el fluido alimentario (8). La formaci3n y acumulaci3n de hielo (10) se produce en las paredes del vaso refrigerante.

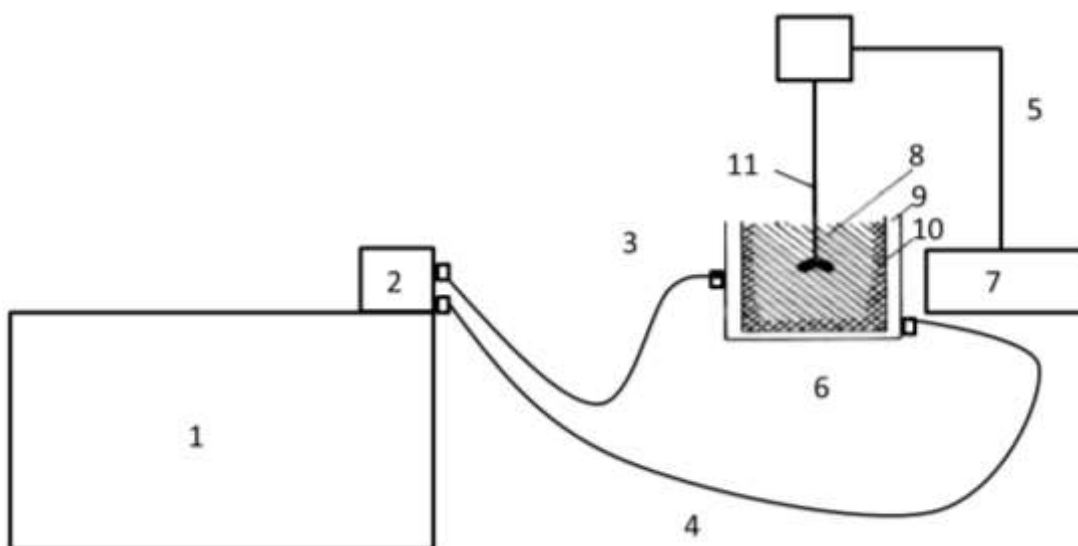


Figura 17. Esquema del equipo de crioconcentraci3n.

En la siguiente fotograf3a (figura 18), se muestra el equipo real de funcionamiento antes de empezar a realizar los ensayos.



Figura 18. Equipo de crioconcentración.



Regulador de la temperatura.

Entrada del líquido refrigerante.

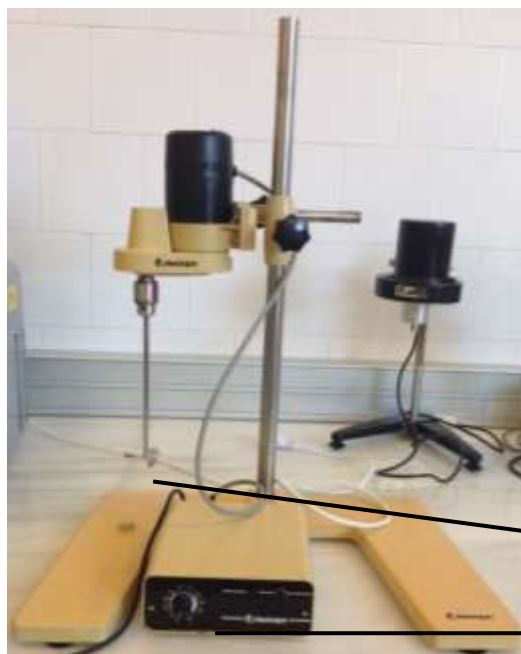
Figura 19. Vista frontal del baño termostático.



Orificios de entrada y salida del fluido refrigerante.

Descripción	Baño termostático POLYSCIENCE. Modelo 9505-Estados Unidos.
Especificaciones técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rango de temperatura -30° C a 150° C</li> <li>▪ Estabilidad de Temperatura +/- 0,05° C</li> <li>▪ Precisión de lecturas +/- 0,5° C</li> <li>▪ Mezcla de 50% etilenglicol y agua.</li> <li>▪ Bomba de recirculación máximo 60Hz</li> </ul>

Figura 20.Vista trasera del baño termostático



Equipo	Agitador RGL 500
Especificaciones Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Potencia (W): 210/160</li> <li>▪ Rango de velocidad (rpm): 250-5000</li> <li>▪ Torque máximo (Ncm): 30</li> <li>▪ Viscosidad máxima (mPas): 40000</li> <li>▪ Peso incluido cabezal(kg): 3,9</li> <li>▪ Rango de temperatura: (°C): 0-40</li> <li>▪ Máxima humedad relativa: 95%</li> </ul>

Varilla agitadora metálica

Regulador de la velocidad de giro (rpm)

Figura 21.Agitador.





Equipo	Vaso encamisado VidraFOC
Especificaciones Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Profundidad (mm) : 230</li> <li>▪ Diámetro exterior (mm) : 135</li> <li>▪ Diámetro interior (mm) : 115</li> </ul>

Figura 22. Vaso refrigerante.

Otros materiales utilizados:

- Datalogger.



Equipo	Datalogger testo 965
Especificaciones técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensor: Pares thermo tipo K, T y J</li> <li>▪ Número de canales: 2</li> <li>▪ Parámetro: ° C/° F/ K</li> <li>▪ Rango de medición: -100 ≈1000° C</li> <li>▪ Exactitud: ±0,1° C</li> </ul>

→ Sensor pares thermo (sonda)

Figura 23.Datalogger.

▪ **Refractòmetre.**



Equipo	Refractòmetre digital Modelo DBX-55A
Especificacions Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rango de medida: 0,0≈55,0%</li> <li>▪ Consumo: 10 VA</li> <li>▪ Exactitud: 0.1 Brix ± 0,1%</li> <li>▪ Temperaturas: 5 ≈ 40° C</li> <li>▪ Volumen de muestra: &lt; 0,3ml</li> <li>▪ Dimensiones: 12x27x9 cm</li> <li>▪ Peso: 2 kg</li> </ul> Fabricante : ATAGO (JAPÓN)

Figura 24. Refractòmetre DBX-55A.

▪ **Tacòmetre.**



Equipo	Tacòmetre digital Modelo PCE-DT62.
Especificacions técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Precisió (0,05% + 1 digito)</li> <li>▪ Rango test RPM 2-99,999</li> <li>▪ Resolució 0,1 RPM</li> <li>▪ Distancia 50 mm - 500 mm</li> <li>▪ Consumo de energia 45mA</li> <li>▪ Temperatura 0°C- 50°C</li> <li>▪ Dimensiones 160x58x39</li> <li>▪ Peso 151 g</li> </ul>

Figura 25. Tacòmetre digital PCE-DT62.

- **Balanza de precisión KB-1200 2N**



Equipo	Balanza de precisión Modelo: KB 1200-2N KERN D-72336
Especificaciones técnicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peso máximo: 1210g</li> <li>▪ D = 0,01g</li> <li>▪ Dc: 9V</li> <li>▪ Fabricante: KERN (ALEMANIA)</li> </ul>

**Figura 26. Balanza de precisión KB-1200 2N**

- **Recipiente de plástico**
- **Cronómetro**
- **Filtro de tela**
- **Colador metálico**
- **Pala de metal**
- **Pipeta Pasteur de vidrio**
- **Polietileno (aislante térmico)**
- **Poliestireno extruido**
- **Probeta 100 ml**
- **Agua destilada**
- **Sacarosa (Azúcar blanca común (Azucarera Española) para las disoluciones patrón (15,25 y 35 ° Brix)**

### **7.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Para la recopilación y posterior análisis de los datos estadísticos se utilizó el programa informático Minitab 16.

El análisis se centró en aplicación de un modelo lineal general (GLM) para detectar que factores de los estudiados (concentración inicial (°Brix), velocidad de giro del agitador (rpm) y temperatura del refrigerante (°C)) tienen efecto significativo sobre una variable respuesta (concentración final en °Brix). Al tratarse de más de dos factores, este modelo permite también estudiar la interacción entre diferentes combinaciones de factores.

Se realizó el método de Tukey para la comparación múltiple de las medias.

Asimismo, se realizó una regresión lineal múltiple tomando como predictores los parámetros de trabajo. Mediante esta evaluación se pudo determinar qué factores afectan más o menos en la variable respuesta.

En todos los casos se trabajó con un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ .

#### 7.4. PARAMETROS ESTUDIADOS

Los parámetros estudiados fueron el ice mass ratio, índice de concentración, el coeficiente medio de distribución y la eficiencia de la crioconcentración, los cuales son descritos a continuación.

- **Ice mass ratio (W)**

El grado de concentración conseguido en un crioconcentrador depende de la cantidad de hielo que se ha formado durante el proceso. La cantidad de agua que se necesita extraer en forma de hielo de la solución a partir de la concentración inicial, para obtener la concentración deseada se puede establecer siguiendo la relación reflejada a continuación (Desphande, 1982):

$$W = \frac{C_{sf} - C_{si}}{C_{sf} - C_{hf}} \quad (9.1)$$

$W$  = kg hielo formado / kg líquido de alimentación.

$C_{si}$  = concentración de solutos en líquido de alimentación (p/p)

$C_{sf}$  = concentración de solutos en el producto final (p/p)

$C_{hf}$  = concentración de solutos en el hielo (p/p)

- **Índice de concentración (IC)**

Se define como relación entre la fracción de sólidos del líquido crioconcentrado y la fracción de sólidos en la solución inicial.

$$IC = \frac{C_{sf}}{C_{si}} \quad (9.2)$$



- **Coefficiente medio de distribución  $K$**

Es una medida de la cantidad de soluto que está ocluido en el hielo. Se define por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Ch_f}{Cs_f} \quad (9.3)$$

- **Eficiencia de crioconcentració ( $eff$ )**

Es una medida de la recuperació de sólidos en la solució crioconcentrada respecto a la cantidad de sólidos que se han atrapado en el hielo (Raventós et al., 2007):

$$eff = \frac{Cs_f - Ch_f}{Cs_f} \times 100 \quad (9.4)$$

## 8. RESULTADOS

La concentración final obtenida en los ensayos a diferentes concentraciones, temperaturas de refrigerante y velocidad de giro del agitador, se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6. Concentraciones finales obtenidas en los ensayos.**

rpm	15°Brix			25°Brix			35°Brix		
	-10°C	-15°C	-20°C	-10°C	-15°C	-20°C	-10°C	-15°C	-20°C
0	17.1	27.7	27.1	26.6	37.2	33.6	38.7	40.4	42.6
500	26.6	27.8	39.5	33.7	36.9	44.7	41,8	45.2	49.5
800	28.4	34.9	42.5	38	42	49	42.3	49.6	53
2100	33.6	42.3	47	40.8	44.4	47.1	44.7	49.6	50.7

La tabla muestra el valor de la concentración final más elevada para cada ensayo, se observa de manera general que las concentraciones más elevadas se logran con una velocidad de agitación alta, una temperatura menor y partiendo de concentraciones iniciales más elevadas. También se observa que si no existe agitación, la concentración final obtenida es muy similar a la concentración inicial si se trabaja con una temperatura de -10°C.

Dentro del análisis estadístico los resultados obtenidos se muestran a continuación:

### EFFECTO DE LOS PARAMETROS DE TRABAJO.

Se aplicó un modelo lineal general (GLM) para ver el efecto de los factores velocidad, temperatura y grados Brix iniciales en la variable respuesta que es la concentración de grados Brix final. En la tabla 7 se especifica los niveles de cada factor.

**Tabla 7. Niveles de cada factor analizados por el modelo lineal**

Factor	Tipo	Nivel	Valores
Velocidad (rpm)	Fijo	4	0; 500; 800; 2100
Temperatura (°C)	Fijo	3	-10; -15; -20
[Brix]Inicial	Fijo	3	15; 25; 35



Después de haber efectuado el modelo lineal general tomando como respuesta la concentración de grados Brix Final, se observa que tanto los efectos individuales, de interacción doble e interacción triple son significativas (ver tabla 8)

**Tabla 8. Significancia de cada factor individual, de interacción doble y triple.**

Fuente	p-valor
Velocidad	0,000
T°	0,000
[Brix]Inicial	0,000
Velocidad * T°	0,000
Velocidad * [Brix]Inicial	0,000
T° * [Brix]Inicial	0,000
Velocidad * T° * [Brix]Inicial	0,000

Se observa que todos los factores, solos o con interacción entre ellos, presentan un p-valor inferior al 5%, con lo cual se deduce que todos estos factores tienen efecto significativo sobre la variable respuesta, por lo que influyen directamente en el proceso de crioconcentración. Además, el coeficiente de determinación ajustado es elevado (97,80%) esto quiere decir que el modelo explica un 97,80% la variable respuesta.

Al ser significativas las variables se utilizó el método de Tukey.

A continuación se muestra la separación de medias para los factores individuales, obteniendo los siguientes resultados (tabla 9).



**Tabla 9. Separación de medias por Tukey para cada factor individual.**

Parámetro	Valor	Media (°Brix)	Agrupación
Velocidad (rpm)	2100	44,37	A
	800	42,18	B
	500	38,41	C
	0	32,33	D
Concentración inicial (°Brix)	35	45,67	A
	25	39,51	B
	15	32,78	C
Temperatura (°C)	-20	43,77	A
	-15	39,83	B
	-10	34,36	C

A medida que se trabaja con velocidades de giro más elevadas, la concentración final alcanzada es mayor, que si se trabaja con velocidades menores. El menor resultado se alcanza si se trabaja con una velocidad nula.

Al trabajar con unas concentraciones iniciales bajas, se logran resultados finales menores en comparación si se parte de concentraciones iniciales elevadas.

Para la temperatura, la concentración final en los ensayos disminuye a medida que se trabaja con una temperatura más alta.

Estos resultados se analizarán conjuntamente cuando interaccionan entre ellos para que se ajusten más a la realidad y observar qué comportamiento siguen al tener una relación recíproca.

Por lo que el estudio se centró en analizar la separación de medias para la interacción triple (tabla 10).



Tabla 10. Separación de medias por Tukey para la interacción triple.

	Velocidad	Temperatura (°C)	[Brix]Inicial	N	Media[Brix]Final	Agrupación
1	800	-20	35	3	53	A
	2100	-20	35	3	50,7	A B
	2100	-15	35	3	49,6	A B C
	800	-15	35	3	49,6	A B C
	500	-20	35	3	49,5	A B C
	800	-20	25	3	49	A B C D
2	2100	-20	25	3	47,1	BCDE
	2100	-20	15	3	46	CDEF
	500	-15	35	3	45,2	DEFG
	2100	-10	35	3	44,7	EFGH
	500	-20	25	3	44,7	EFGH
	2100	-15	25	3	44,4	EFGHI
	0	-20	35	3	42,6	FGHIJ
	800	-20	15	3	42,5	FGHIJ
	2100	-15	15	3	42,3	FGHIJ
	800	-10	35	3	42,3	FGHIJ
	800	-15	25	3	42	FGHIJK
	500	-10	35	3	41,8	GHIJK
	2100	-10	25	3	40,8	HIJKL
	0	-15	35	3	40,4	IJKL
	500	-20	15	3	39,5	JKL
	0	-10	35	3	38,7	JKLM
	800	-10	25	3	38	KLM
	0	-15	25	3	37,2	LMN
	500	-15	25	3	36,9	LMN
	800	-15	15	3	34,9	MN
500	-10	25	3	33,7	N	
2100	-10	15	3	33,6	N	
0	-20	25	3	33,6	N	
3	800	-10	15	3	28,4	O
	500	-15	15	3	27,8	O
	0	-15	15	3	27,7	O
	0	-20	15	3	27,1	O
	500	-10	15	3	26,6	O
	0	-10	25	3	26,6	O
	0	-10	15	3	17,1	P

Medias con letras diferentes, son significativamente diferentes.

A partir de los datos de separación de medias obtenidos a partir de Tukey, se realizó y clasificó de manera general, distintas combinaciones de los 3 factores en los siguientes 3 grupos:

El primer grupo (verde) corresponde a las combinaciones con las que se obtiene las concentraciones finales más elevadas: a velocidades altas (entre 800 y 2100 rpm), temperaturas bajas (-20 y -15 °C) y una concentración inicial de 35 Brix.

En el último grupo (azul), se obtienen las concentraciones finales más bajas si se trabaja con las siguientes combinaciones: velocidades de giro bajas o nulas, temperatura elevada (-10°C) en comparación a las otras dos y una concentración inicial menor (15 Brix).

No obstante, en la parte central de la tabla (naranja), a pesar de no tener las medias más altas, se observa que se produce un mayor aumento de la concentración final en relación de la concentración inicial. El rango de esta diferencia para los valores que más se repiten está entre los 27 - 31 grados Brix. Para el primer grupo, siguiendo el mismo criterio, el rango está entre 14 - 15 grados Brix y para el último grupo, el rango está entre los 11-13 grados Brix.

Los resultados del análisis estadístico permiten llegar a las siguientes orientaciones para optimizar el proceso en base a los requerimientos necesarios:

Bajo estas 3 condiciones de trabajo (Temperatura, concentración inicial del fluido y la velocidad de giro), se obtiene un resultado óptimo en la concentración final, si se trabaja con una velocidad de 800 rpm, una temperatura de -20°C y partiendo de una concentración inicial de 35 Brix. El resultado final de la concentración fue de 53 °Brix partiendo de una concentración de 35 °Brix, presentando un índice de concentración de 1,5.

Teniendo en cuenta la concentración inicial trabajada, el resultado más optimizado en todo el proceso es a una concentración inicial de 15 °Brix, temperatura de -20°C y una velocidad de giro de 2100 rpm, obteniendo como resultado final 46 °Brix, presentando un índice de concentración de 3.

Para optimizar costos de producción, las condiciones más adecuadas de trabajo son a una concentración inicial de 15 °Brix, temperatura de -15°C y una velocidad de giro nula, obteniendo como resultado final 27,7 °Brix, presentando un índice de concentración de 1,85. Bajo estas condiciones se logra un importante ahorro energético ya que no se necesita agitación para el



fluida i tampoc disminuir fins a  $-20^{\circ}\text{C}$  el bany termostàtic. Diluir també suposa un estalvi en la producció ja que es necessita menys quantitat de matèria prima (Sacarosa) per fer la dissolució.

#### AJUSTE DE LOS DATOS A UN MODELO LINEAL.

Se realizó un análisis de regresión lineal, previamente se comprobó que los datos obtenidos siguen una distribución normal y no presentan anomalías o valores atípicos, para ello, se obtuvieron los gráficos de distribución normal y del histograma de residuos.

El gráfico de probabilidad normal (figura 27) sigue una línea recta y una distribución normal, por lo que se puede deducir que los datos obtenidos y los residuos son coherentes y se distribuyen normalmente.

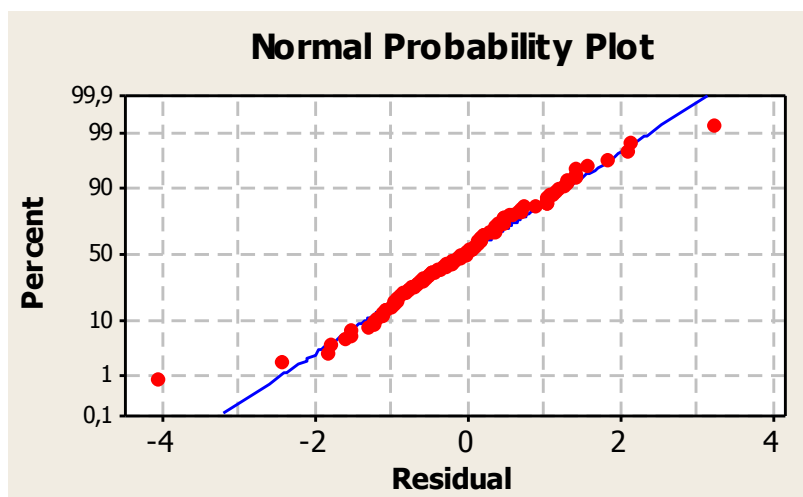


Figura 27. Gráfico de probabilidad normal.

En el histograma de residuos (figura 28) no se detectan picos múltiples o valores atípicos, por el contrario tiene una aproximación simétrica y se ajusta a una campana de Gauss, por lo que se vuelve a corroborar la fiabilidad de los datos.

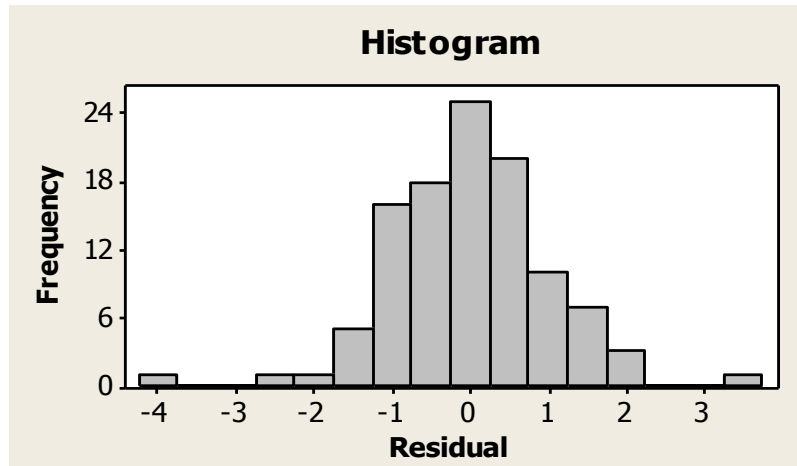


Figura 28. Histograma de residuos.

Para la obtención de la ecuación de la recta se utilizó como variable respuesta la concentración final del fluido alimentario en función de los parámetros de trabajo:



La ecuación de regresión es:

$$[Brix] \text{ Final} = 4,71 + 0,00516 \text{ velocidad} - 0,941 T^{\circ} + 0,645 [Brix] \text{ Inicial} \quad (10.1)$$

Tabla 11. Coeficientes de regresión y sus p-valores.

Predictor	Coefficiente	T	p-Valor
Constante	4,708	2,8	0,006
Velocidad	0,0051576	11,91	0,000
Temperatura (°C)	-0,94083	-11,43	0,000
[Brix]Inicial	0,64458	45,66	0,000

Para deducir que parámetro tiene mayor impacto en la ecuación, se tiene en cuenta la T-calculada (T) en valor absoluto. Se determina que la concentración inicial es el parámetro que más influye

en el proceso de crioconcentración ya que presenta el valor más elevado (45,66). El parámetro que tiene menor impacto es la temperatura, casi en igual proporción que la velocidad.

<b>S = 3,49293</b>	<b>R-cuadrado. = 83,3%</b>	<b>R-cuadrado. (ajustado) = 82,8%</b>
--------------------	----------------------------	---------------------------------------

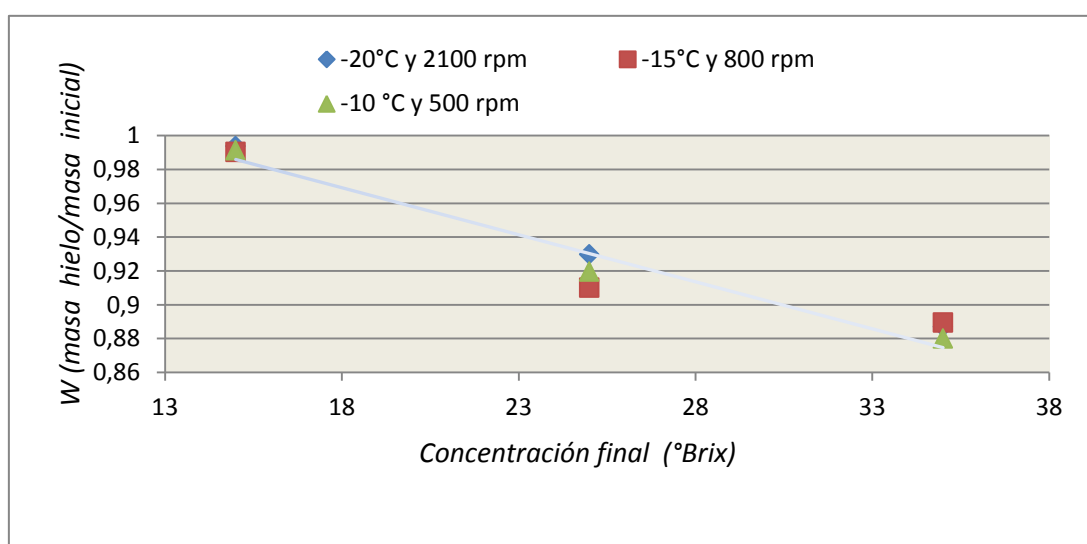
Con el R-cuadrado ajustado se puede decir que el modelo explica el 82,8% de los datos, indicando una fiabilidad óptima.

Dentro del análisis de los parámetros estudiados se comprobó que todos los ensayos muestran uniformidad en los resultados, de tal manera que las gráficas realizadas presentan similitud entre ellas, por lo que se representan gráficamente valores sólo para 3 ensayos concretos para hacer una representación significativa. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- **Ice mass ratio.**

El grado de concentración final obtenido en el equipo crioconcentrador depende de la cantidad de hielo formado durante el proceso (ecuación 2) y de la pureza del mismo.

En la figura 29, se representan como muestra, algunos de los resultados del Ice mass ratio calculados con los datos experimentales. En el anejo se adjunta el resto de datos de este parámetro. El comportamiento general es congruente ya que se aprecia un descenso del W, en función del aumento de la concentración, esto es debido a que mientras los grados Brix aumentan, se dispone de menos agua para incrementar ésta concentración.



**Figura 29.** Representación gráfica del Ice mass ratio (W).

- **Índice de concentración**

Se calculó el índice de concentración (IC) a partir de las concentraciones finales de todos los ensayos. En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en intervalos para el mayor y menor IC partiendo de la concentración inicial. Se observa que se obtienen resultados más elevados, partiendo de concentraciones iniciales bajas, esto guarda relación debido a que si existe menor concentración inicial, más fácil le resulta al agua difundir sus moléculas hacia la superficie de los cristales y por lo tanto, formar cristales, ya que a medida que la crioconcentración avanza aumenta la viscosidad, ésta es un obstáculo para la transferencia de calor y masa. Esto indicaría que el sistema de crioconcentración progresiva es más eficiente o se comporta mejor en bajas concentraciones de solutos.

También se observa que las condiciones en las cuales se obtienen menores índices de concentración son aquellas en las que la velocidad de giro es nula y la temperatura es más elevada, esto comprueba que la agitación y la disminución de la temperatura juegan un papel importante para la crioconcentración.

**Tabla 12. Intervalos del índice de concentración de los ensayos.**

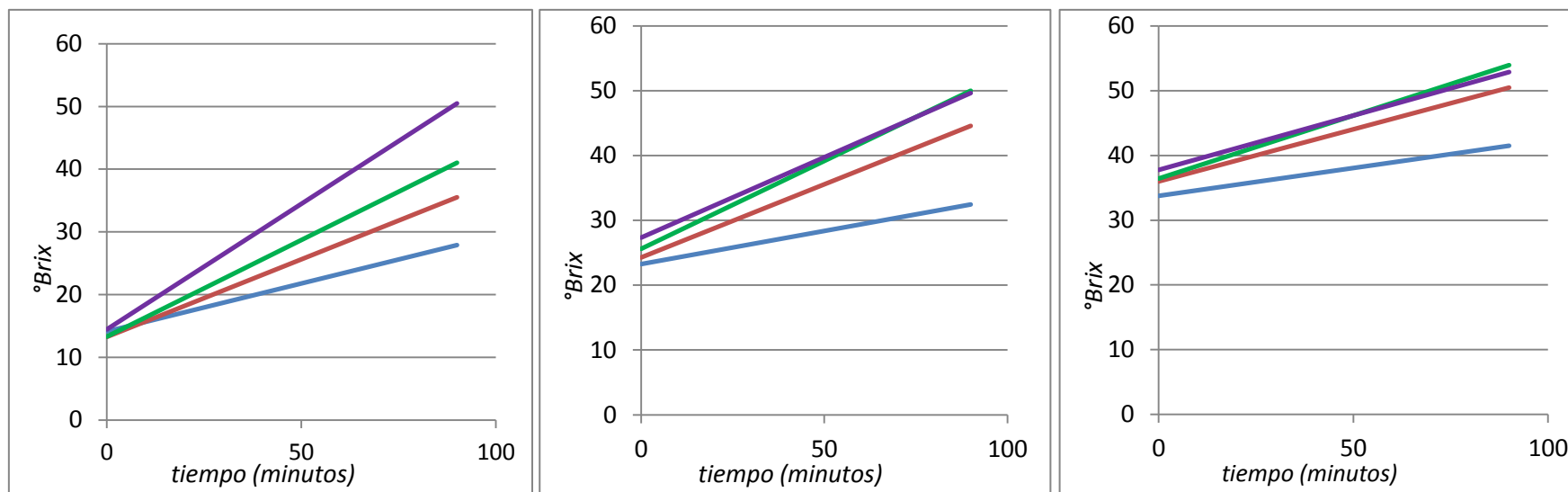
°Brix inicial	15		25		35	
Valor	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
IC	1,02	3,28	1,056	2,02	1,06	1,53
Condiciones de trabajo	0 rpm ; -10°C	2100 rpm; -20°C	0 rpm ; -10°C	800 rpm; -20°C	0 rpm ; -10°C	800 rpm; -20°C

- **Cinética de la concentración.**

En la figura 30 se muestra la cinética de la concentración de grados Brix de los ensayos para una temperatura de -20°C, que fue la que dio mayores resultados en función de la concentración final.

Se observa en todos los casos un buen ajuste a una función lineal. A medida que se incrementa la concentración la cinética es más lenta, debido a la viscosidad que es un factor limitante.





Color	15 °Brix			25 °Brix			35 °Brix		
	rpm	Ecuación	R <sup>2</sup>	rpm	Ecuación	R <sup>2</sup>	rpm	Ecuación	R <sup>2</sup>
Blue	0	$y = 0,1529x + 14,149$	0,982	0	$y = 0,1024x + 23,251$	0,833	0	$y = 0,0858x + 33,778$	0,881
Red	500	$y = 0,2474x + 13,247$	0,976	500	$y = 0,2253x + 24,28$	0,974	500	$y = 0,1611x + 35,991$	0,985
Green	800	$y = 0,3082x + 13,289$	0,913	800	$y = 0,2481x + 27,327$	0,964	800	$y = 0,168x + 37,76$	0,910
Purple	2100	$y = 0,4004x + 14,444$	0,99	2100	$y = 0,2709x + 25,609$	0,993	2100	$y = 0,1944x + 36,451$	0,980

Figura 30. Cinética de la concentración para -20°C.



En la concentración inicial de 15 grados Brix domina la transferencia de calor, sin embargo, en las concentraciones de 25 y 35 grados Brix domina la transferencia de masa porque la viscosidad aumenta.

El gráfico comprueba los resultados del estadístico de Tukey, a mayor concentración inicial de partida, mayor velocidad de giro y menor temperatura, se logra una concentración final mayor.

Asimismo, los resultados más optimizados se logran partiendo de concentraciones iniciales menores, ya que la cinética sigue un comportamiento lineal más acelerado para una concentración inicial de 15 grados Brix.

Para las 3 concentraciones, los R cuadrado presentan unos valores cercanos al 1, lo que indica fiabilidad y correcta distribución de los datos.

La máxima concentración alcanzada en los ensayos es 53 °Brix. El límite de los sistemas de crioconcentración viene determinado por la concentración en el punto eutéctico de las soluciones analizadas. En el punto eutéctico de una solución binaria se forman simultáneamente cristales de hielo y de soluto, y la separación no es factible. Diferentes autores (Rousseau, 1980; Deshpande, 1982 y 1984; Brouwer, 1995; Flesland, 1995b; Lorain, 2001) indican que el punto eutéctico es el limitante en la aplicación de esta técnica de concentración. Las concentraciones eutécticas de sacarosa varían según las fuentes (International critical tables (1927-1930); I. G. Chudotvortsev (2007) y S. K. Chandrasekaran (1971)) entre 54 y 62,4 % p/p. Todo lo anterior sugiere que en los ensayos realizados se ha alcanzado prácticamente la concentración límite de esta técnica para las soluciones de sacarosa.

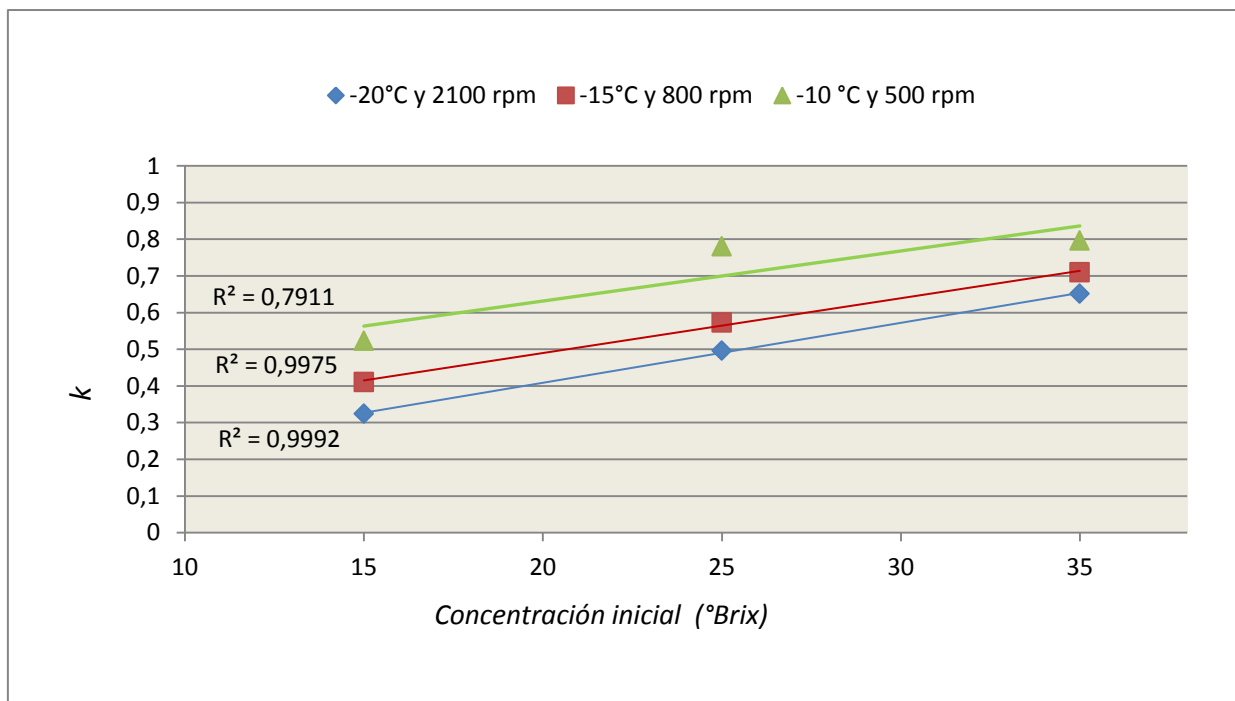
- **Coficiente medio de distribución (K).**

El coeficiente K (ecuación 4), es una medida de la cantidad de solutos ocluidos en el hielo. El gráfico 31 muestra que en ensayos con una menor concentración, K también presenta un menor valor, por el contrario, en ensayos con la concentración más elevada, K aumenta considerablemente.

A partir de los resultados obtenidos se puede orientar a que existe una relación lineal entre la concentración de partida y la retención de solutos en el hielo, debido a que a medida que incrementa la concentración, el parámetro k es mayor. Estos resultados se corresponden con los estudios realizados por Chen & Chen (2000), donde se observó que el factor que más influye en



los resultados de la concentraci3n de solutos en el hielo final era la concentraci3n del fluido de partida.

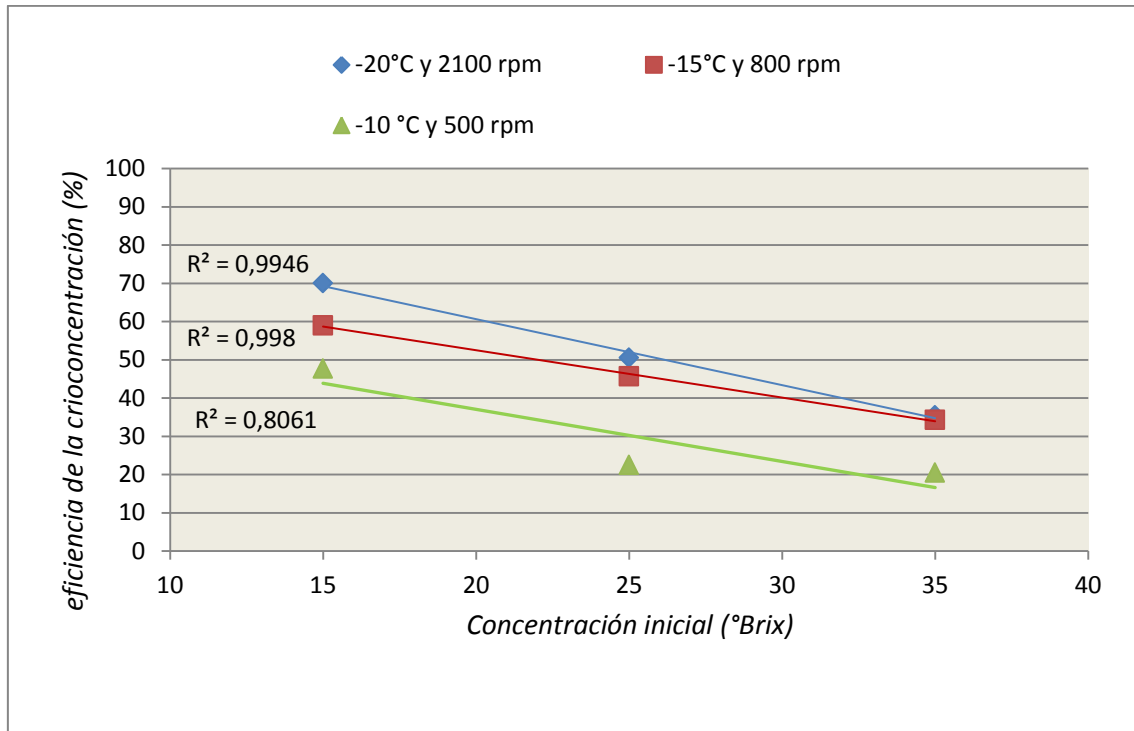


**Figura 31. Representaci3n gràfica del coeficient de distribuci3n K.**

Este comportamiento se debe a que a medida que se va concentrando la soluci3n, la viscosidad aumenta y la temperatura de congelaci3n es cada vez menor. Estas limitaciones hacen que los coeficientes de difusi3n de los solutos en la interfaz hielo-líquido se ralenticen y los solutos queden retenidos con m3s facilidad en el hielo.

- **Eficiencia del crioconcentrador.**

Por lo general, cuantos menos solutos retenga el hielo formado, m3s se habr3 concentrado la soluci3n. En la figura 32 se observan los resultados de la eficiencia del crioconcentrador (ecuaci3n 1.5), que va disminuyendo a medida que los ensayos se realicen a concentraciones m3s elevadas.



**Figura 32. Eficiencia del equipo en función de la concentración inicial.**

Se puede deducir a partir del gráfico, que la eficiencia es mayor, mientras más bajas sean las concentraciones de partida. La eficiencia, asimismo, se ve afectada por la velocidad de giro y la temperatura de enfriamiento que afecta negativamente por el incremento de la viscosidad en la solución.

## 9. DISCUSIÓ*N* GENERAL

Respecto a la má*x*ima concentrac*ió*n alcanzada, los resultados obtenidos son comparables a los de Miyawaki (2005), que en un sistema tubular ha concentrado soluciones de sacarosa hasta el 54,8 % p/p, partiendo de una concentrac*ió*n inicial de 41,4 % p/p. Por tanto en ambos casos se consigue alcanzar concentraciones cercanas al punto eutéctico de la sacarosa (entre 54 y 62,4 % p/p según las referencias), que indica el límite de los sistemas de concentrac*ió*n.

No se han encontrado en la literatura trabajos referidos a la cinética de crioconcentrac*ió*n de soluciones de sacarosa. Bayindirli et al. (1993) describen que en la crioconcentrac*ió*n de zumo de manzana en un equipo similar al nuestro la evoluc*ió*n de la concentrac*ió*n con el tiempo se ajusta bien a una func*ió*n sigmoide, con tiempos de ensayo entre 200 y 500 minutos. Ahora bien si analizamos la evoluc*ió*n durante los primeros 100 minutos se observa en todos los casos un comportamiento lineal, similar a nuestros resultados obtenidos en ensayos de 90 minutos de durac*ió*n.

Flesland (1995) realiza ensayos de crioconcentrac*ió*n de soluciones de sacarosa en un equipo experimental en placa, a concentraciones de solutos entre 5 y 40 % p/p. Dichos ensayos ponen de manifiesto que a mayor concentrac*ió*n de solutos, el coeficiente de distribuci*ó*n medio (K) aumenta. Según este autor este incremento en K es debido a que a mayor concentrac*ió*n la transferencia de masa de la sacarosa se reduce y puede ser incorporada al hielo con más facilidad que a concentraciones más bajas. Sugiere el autor que los resultados obtenidos pueden mejorarse (disminuir K) mediante un incremento de la agitaci*ó*n del fluido sobre la placa o reduciendo la velocidad de crecimiento de hielo sobre la placa.

En el dispositivo en placa mostrado en la figura 9, Chen & Chen (2000) ensaya con soluciones de sacarosa a concentraciones entre 1-30 % p/p. Su variable respuesta es el coeficiente de distribuci*ó*n medio (K) definido en la ecuaci*ó*n 1.4, en func*ió*n de la concentrac*ió*n inicial de la soluci*ó*n, la velocidad de crecimiento de hielo y la velocidad del fluido sobre la placa. Dicho trabajo muestra que el factor determinante sobre el valor de K es la concentrac*ió*n inicial de la soluci*ó*n, mientras que la velocidad de formaci*ó*n de hielo y la velocidad media del fluido sobre la placa tienen una importancia menor. De igual modo muestra que a igualdad de velocidad de crecimiento de hielo y de fluido sobre la placa, el valor de K aumenta con la concentrac*ió*n, comportamiento similar al observado en el presente trabajo. Dicho estudio sugiere que una

disminución de la viscosidad debido a la disminución de la concentración de la solución, puede incrementar el coeficiente de transferencia de masa y facilitar que los solutos salgan de la interfase hielo-solución, evitando que sean atrapados por el hielo, reduciendo de esta forma el valor de K.

Ruiz (2009) estudian la crioconcentración progresiva de soluciones de sacarosa en un diseño similar al de la figura 8 (Miyawaki 2001). Concluyen que las variables que más influyen en K son la concentración inicial y la velocidad de agitación.

Estudios más recientes de crioconcentración progresiva llevados a cabo por Jusoh et al. (2013) en un equipo similar al descrito por Miyawaki et al. (2005) con soluciones de glucosa indican que los factores determinantes sobre el valor de K son por este orden: caudal de la solución, concentración inicial y temperatura del refrigerante.

Respecto a la eficiencia de la concentración los resultados obtenidos muestran la misma tendencia que los reportados por Raventós et al. (2007) en la crioconcentración en capa de soluciones de sacarosa, de manera que la eficiencia disminuye con el incremento de la concentración inicial de la solución.



## CONCLUSIONES

En consecuencia del estudio de la crioconcentració*n* progresiva de soluciones de sacarosa, podemos decir que:

- Se ha podido verificar que los factores analizados (concentració*n* inicial, temperatura refrigerante y velocidad de agitaci6n) influyen significativamente sobre el resultado final de la crioconcentració*n* progresiva siendo el de mayor importancia la concentraci6n inicial.
- La m6xima concentraci6n (53 grados Brix) obtenida en la crioconcentració*n* se logra partiendo de una concentraci6n inicial de 35 grados Brix, velocidad de giro de 2100 rpm y temperatura de -20°C. Este resultado est6 muy pr6ximo al punto eut6ctico de la soluci6n de sacarosa que es el l6mite de 6sta t6cnica.
- Los resultados que no mostraron diferencias relevantes respecto a la concentraci6n de partida fueron de aquellos ensayos en los que las condiciones de trabajo se realizaron a temperaturas de -10°C o -15°C y una velocidad de giro nula.
- En general, la cin6tica observada en todos los ensayos se ajusta a una funci6n lineal. La cin6tica es mayor a concentraciones bajas y altas velocidades de giro.
- El mayor 6ndice de concentraci6n y por ende el resultado m6s optimizado se obtiene mediante una concentraci6n inicial de -15°Brix , velocidad de giro de 2100 rpm y una temperatura de -20°C.
- Se ha obtenido una ecuaci6n de regresi6n lineal ( $[Brix] \text{ Final} = 4,71 + 0,00516 \text{ velocidad} - 0,941 T^\circ + 0,645 [Brix] \text{ Inicial}$ ) que permite modelizar el resultado final en funci6n de los factores analizados. El rango de uso de la ecuaci6n de regresi6n aplica para una concentraci6n inicial de 15 a 35 °Brix, temperatura comprendida entre -10 y -20°C y velocidad de giro de 0 a 2100 rpm.
- Todos los factores implicados son significativos en la crioconcentració*n*, ya sean individuales o interactuando entre ellos, siendo la interacci6n triple la que se ajusta m6s a la realidad ya que permite obtener un correcto comportamiento del fluido analizado al estar bajo la influencia simult6nea de los tres factores.

- Los resultados obtenidos muestran tendencias similares a los reportados por otros investigadores que trabajan en críoconcentración como Flesland (1995), Chen & Chen (2000), Miyawaki et al. (2005), Raventós et al. (2007), Ruiz (2009) y Jusoh et al. (2013).



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Akyurt, M., Zaki, G., & Habeebullah, B. (2002). Freezing phenomena in ice – water systems. *Energy Conversion and Management*, 43, 1773–1789.
- [2] Aider, M., & de Halleux, D. (2009). Cryoconcentration technology in the bio-food industry: Principles and applications. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 679–685. doi:10.1016/j.lwt.2008.08.013.
- [3] Auleda et al. (2008). *Modelo para la predicció de puntos de congelació de zumos*. V congreso de ingeniería y tecnología de alimentos. 4-6.
- [4] Bayindirli, L., Ozilgen, M., and Urgan, S. (1993). Mathematical analysis of freeze concentration of apple juice. *Journal of Food Engineering*. 19, 95-107.
- [5] Brouwer, J.P., Alkemade, M.M.C., Bierman, G. (1995). Techno-economic comparison of technologies for the concentration of a mixed leachant bleed stream. *Desalination*. 101, 211-218.
- [6] Chandrasekaran, S.K., Judson King, C. (1971). Solid-liquid phase equilibria in multicomponent aqueous sugar solutions. *Journal of food science*. 36, 699-704.
- [7] Chen, P., Chen, X.D., Free, K.W. (1999). An experimental study on the spatial uniformity of solute inclusion in ice formed from falling film flows on a sub-cooled surface. *Journal of Food Engineering*. 39, 101-105.
- [8] Chen and, P., Dong Chen, X. (2000) *A generalized correlation of solute inclusion in ice formed from aqueous solutions and food liquids on sub-cooled surface*. *The Canadian Journal of chemical engineering*. 78, 312-319.
- [9] Chudotvortsev, I.G., Yatsenko, O.B. (2007). Concentration and temperature of eutectic points in glucose-water and saccharose-water systems, determined by the method of fractional melting of ice. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 80 (2), 201-205.
- [10] Deshpande, S.S, Bolin, H.R., Salunkhe, D. K. (1982). Freeze concentration of fruit juices. *Food Technol*. May: 68-82.
- [11] Deshpande, S.S., Cheryan, M., Sathe, S.K., Salunkhe, D.K. (1984). Freeze concentration of fruit juices. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 20 (3) 173-248.



- [12] Duarte, S; Raventós, M. (2003) Sistema de crioconcentración de fluidos alimentarios por placas a presión atmosférica. Comunicación II Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. CESIA Junio 2003
- [13] Falguera, V., Aliguer, N., & Falguera, M. (2012). An integrated approach to current trends in food consumption: Moving toward functional and organic products? *Food Control*, 26(2), 274–281. doi:10.1016/j.foodcont.2012.01.051
- [14] Flesland, O. (1995a). Freeze concentration by layer crystallization. *Drying Technol.* 13:1713-1739. Marcel Dekker, Inc., Nueva York.
- [15] Flesland, O. (1995b). Studies on freeze concentration by suspension and layer crystallization. Tesis doctoral. Universitat de Trondheim. Noruega.
- [16] Hartel, R.W. (1992). Freeze concentration. In *Handbook of food engineering*, Heldman, D.R., Lund, D.B. Marcel Dekker, Inc. New York. 373-392.
- [17] Heist, J.A. (1979). Freeze concentration, *Chemistry Engineering*, 86 (10), 72-82.
- [18] Hernández, E. (2008) *Crioconcentrador de fluids alimentaris en un refredador de pel·licula descendent*. Tesis doctoral. Universidad Politècnica de Catalunya.
- [19] Jusoh, M., Johari, A., Ngadi, N., Zakari, Z.Y. (2013). Process optimization of effective partition constant in progressive freeze concentration of wastewater. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 3, 286-293.
- [20] Lorain, O., Thiebaud, P., Badorc, E., Aurelle, Y. (2001). Potential of freezing in wastewater treatment : soluble pollutant applications. *Water Research*. 35 (2), 541-547.
- [21] Miyawaki, O. (2001). *Progressive freeze-concentration: a new method for high-quality concentration of liquid food*. *Food Engineering Progress*. 5 (3), 190-194.
- [22] Miyawaki, O., Liu, L., Shirai, Y., Sakashita, S., Kagitani, K. (2005). Tubular ice system for scale-up of progressive freeze-concentration. *Journal of Food Engineering*. 69, 107-113.
- [23] Moreno, F.L. (2012) Cioconcentració en bloque de soluciones acuosas de café. Avances del Proyecto de Investigación. Doctorado en Ciencias. Universidad de la Sabana. Chía (Colombia).



- [24]Moreno, F. L., Raventós, M., Hernández, E., Ruíz, Y. (2014). *Block freeze-concentration of coffee extract: Effect of freezing and thawing stages on solute recovery and bioactive compounds*. Journal of Food Engineering, 120, 158-166.
- [25] Mullin, J. W. (2001a). Crystal growth. In *Crystallization* (Fourth., pp. 216–288). Oxford.
- [26]Mullin, J. W. (2001b). Nucleation. In *Crystallization* (Fourth., pp. 181–215). Oxford.
- [27]Orrego Alzate, C. E. (2008). Congelació n. In *Congelació n y Liofilizació n de Alimentos* (pp. 1– 43). Colombia: Orrego A.C.E.
- [28]Petzold, G., & Aguilera, J. M. (2009). Ice Morphology: Fundamentals and Technological Applications in Foods. *Food Biophysics*, 4(4), 378–396. doi:10.1007/s11483-009-9136-5.
- [29]Raventós, M., Auleda, J.M., Hernández, E. (2007) *Concentració n de soluciones de glucosa, fructosa y sacarosa en un crioconcentrador de placas*. Journal of food engineering. 79, 577-585.
- [30]Ramteke, R.S., Singh, N.I., Rekha, M.N. and Eipeson, W.E. (1993). Review. Methods for concentration of fruit juices: a critical evaluation. J. Food Sci. Technol. Vol 30, nú m 6, 391-402.
- [31]Roos, Y. H. (1995a). Physical State and Molecular Mobility. In *Phase Transitions in Foods* (pp. 19–48). San Diego.
- [32]Roos, Y. H. (1995b). Water and Phase Transitions. In *Phase Transitions in Foods* (pp. 73– 107). San Diego.
- [33]Rousseau, R.W., Sharpe, E.E. (1980) Freeze Concentration of Black Liquor: Characteristics and Limitations. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 19(1), 201-204.
- [34]Ruiz, Y. (2009). Progressive freeze concentration of sucrose solutions. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia.
- [35]Shafiur Rahman, M.,Guizani, N.,Al-Khaseibi, M., Al-Hinai, S.A., Al-Maskri, S.S., Al-Hamhami, K.(2002). Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. Food Hydrocolloids. 16, 653-659.
- [36]Thijssen, H. A. C., (1986) The economics and potentials of freeze concentration for fruit juices. International Federation of Fruit Juice Producers, XIX Scientific Technical Commission. Symposium Den Haag. Grenco Process Technology and Dept. of Chemical Engineering, Eindhoven University of Technology p 97-103.

[37] Van Weelden, (1994) Freeze concentration: the alternative for single strength juices, Fruit Processing. 4 (5), 140-143.

[38] Vitagliano, M. (1992). Industrie Agroalimentari. Edagricole. Bologna, Italia.



## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.

- McGraw-hill.com *Transferencia de calor y masa* [EN LÍNIA][consulta: setiembre 2014] Disponible en < [http://highered.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/970106173x/510520/cengel\\_transferencia\\_3e\\_capitulo\\_muestra\\_c14.pdf](http://highered.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/970106173x/510520/cengel_transferencia_3e_capitulo_muestra_c14.pdf)>
- Mundo HVACR. *El frío en la conservación de alimentos*. [ EN LÍNIA ] actualizado Agosto 2014 [consulta: setiembre del 2014] Grupo editorial puntual media, S. Disponible en: <<http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2008/05/el-frio-en-la-conservacion-de-alimentos/#sthash.SKJHe2IX.dpuf>>

## ANEJOS

### *PARAMETROS ESTUDIADOS*



- Paràmetres estudiats en relació a la -10°C

V (rpm)	T°	[Brix]Inicial	[Brix]Final	[Brix] Hielo	W	peso hielo (g)	k	eff (%)
0	-10	15	15,3	15	1,000	740	0,980	1,961
0	-10	15	17,8	14,9	0,966	710	0,837	16,292
0	-10	15	18,2	14,8	0,941	780	0,813	18,681
500	-10	15	26,6	13,9	0,913	900	0,523	47,744
500	-10	15	26,1	14	0,917	920	0,536	46,360
500	-10	15	27	14,1	0,930	980	0,522	47,778
800	-10	15	29,1	14	0,934	910	0,481	51,890
800	-10	15	28,5	13,3	0,888	920	0,467	53,333
800	-10	15	27,5	13,5	0,893	995	0,491	50,909
2100	-10	15	33,8	16	1,056	950	0,473	52,663
2100	-10	15	33,7	12,3	0,874	980	0,365	63,501
2100	-10	15	33,3	13,8	0,938	925	0,414	58,559
0	-10	25	26,8	26,2	3,000	754	0,978	2,239
0	-10	25	26,4	23,6	0,500	756	0,894	10,606
0	-10	25	26,5	25,5	1,500	754	0,962	3,774
500	-10	25	33,9	26,1	1,141	905	0,770	23,009
500	-10	25	33,8	26,5	1,205	872	0,784	21,598
500	-10	25	33,5	26,8	1,269	893	0,800	20,000
800	-10	25	38,1	27,2	1,202	996	0,714	28,609
800	-10	25	37,9	23,6	0,902	980	0,623	37,731
800	-10	25	38	23,5	0,897	977	0,618	38,158
2100	-10	25	41,2	21,9	0,839	899	0,532	46,845
2100	-10	25	39,9	21,3	0,801	892	0,534	46,617
2100	-10	25	41,3	21,9	0,840	903	0,530	46,973
0	-10	35	37	35	1,000	758	0,946	5,405
0	-10	35	40,6	35,2	1,037	754	0,867	13,300
0	-10	35	38,6	34,5	0,878	743	0,894	10,622
500	-10	35	42,1	33	0,780	850	0,784	21,615
500	-10	35	41,8	33,3	0,800	843	0,797	20,335
500	-10	35	41,6	32,8	0,750	830	0,788	21,154
800	-10	35	41,4	31,8	0,667	825	0,768	23,188
800	-10	35	41,8	32,3	0,716	836	0,773	22,727
800	-10	35	43,6	32,6	0,782	890	0,748	25,229
2100	-10	35	46,2	32,2	0,800	840	0,697	30,303
2100	-10	35	44	31,6	0,726	861	0,718	28,182
2100	-10	35	44	30,1	0,647	872	0,684	31,591

- Parámetros estudiados en relación a la -15°C

V (rpm)	T°	[Brix]Inicial	[Brix]Final	[Brix] Hielo	W	peso hielo (g)	k	eff (%)
0	-15	15	26,9	14,4	0,952	950	0,535	46,468
0	-15	15	28,6	14,5	0,965	936	0,507	49,301
0	-15	15	27,5	14,4	0,954	939	0,524	47,636
500	-15	15	26,5	14,2	0,935	1052	0,536	46,415
500	-15	15	26,9	13,2	0,869	1020	0,491	50,929
500	-15	15	29,9	13,9	0,931	1028	0,465	53,512
800	-15	15	34,3	14,1	0,955	1106	0,411	58,892
800	-15	15	35,4	14,5	0,976	1121	0,410	59,040
800	-15	15	34,9	14,3	0,966	1112	0,410	59,026
2100	-15	15	41,7	13,8	0,957	1102	0,331	66,906
2100	-15	15	41,8	14,6	0,985	1042	0,349	65,072
2100	-15	15	43,5	14,7	0,990	1102	0,338	66,207
0	-15	25	36,4	25,7	1,065	941	0,706	29,396
0	-15	25	38,7	24,5	0,965	937	0,633	36,693
0	-15	25	36,6	24,4	0,951	946	0,667	33,333
500	-15	25	35,9	23,9	0,908	1025	0,666	33,426
500	-15	25	38,1	24,2	0,942	1062	0,635	36,483
800	-15	25	42,2	24,2	0,956	1102	0,573	42,654
800	-15	25	41,6	24,3	0,960	1082	0,584	41,587
800	-15	25	42,3	24	0,945	1072	0,567	43,262
2100	-15	25	44,6	23,3	0,920	1050	0,522	47,758
2100	-15	25	43,6	23,3	0,916	1022	0,534	46,560
2100	-15	25	45	23,2	0,917	1036	0,516	48,444
0	-15	35	40,6	34,8	0,966	921	0,857	14,286
0	-15	35	40	34,7	0,943	923	0,868	13,250
0	-15	35	40,5	34,9	0,982	941	0,862	13,827
500	-15	35	43,7	34,9	0,989	1025	0,799	20,137
500	-15	35	45,6	34,3	0,938	1002	0,752	24,781
500	-15	35	46,3	34,3	0,942	999	0,741	25,918
800	-15	35	48,6	34,5	0,965	1040	0,710	29,012
800	-15	35	51,1	33,6	0,920	1026	0,658	34,247
800	-15	35	49,2	33,7	0,916	1026	0,685	31,504
2100	-15	35	50	32,5	0,857	947	0,650	35,000
2100	-15	35	49,8	33,1	0,886	929	0,665	33,534
2100	-15	35	49,1	32,7	0,860	897	0,666	33,401

- Paràmetres estudiats en relació a la -20°C

V (rpm)	T°	[Brix]Inicial	[Brix]Final	[Brix] Hielo	W	peso hielo (g)	k	eff (%)
0	-20	15	26,4	14,8	0,983	1037	0,561	43,939
0	-20	15	28,3	15	1,000	1049	0,530	46,996
0	-20	15	26,6	14,8	0,983	1052	0,556	44,361
500	-20	15	37,1	14,4	0,974	1152	0,388	61,186
500	-20	15	40,8	14,5	0,981	1122	0,355	64,461
500	-20	15	40,6	14,9	0,996	1112	0,367	63,300
800	-20	15	42,3	14,3	0,975	1162	0,338	66,194
800	-20	15	41,3	14,5	0,981	1152	0,351	64,891
800	-20	15	43,8	14,2	0,973	1162	0,324	67,580
2100	-20	15	42	15	1,000	1192	0,357	64,286
2100	-20	15	49,3	14,8	0,994	1192	0,300	69,980
2100	-20	15	46,8	14,8	0,994	1192	0,316	68,376
0	-20	25	32,1	24,7	0,959	1024	0,769	23,053
0	-20	25	34	25,8	1,098	1046	0,759	24,118
0	-20	25	34,7	24,7	0,970	1062	0,712	28,818
500	-20	25	43,7	24,5	0,974	1112	0,561	43,936
500	-20	25	46,9	24	0,956	1132	0,512	48,827
500	-20	25	43,6	24,1	0,954	1152	0,553	44,725
800	-20	25	50,6	24,6	0,985	1112	0,486	51,383
800	-20	25	47,8	24	0,958	1142	0,502	49,791
800	-20	25	48,6	24,6	0,983	1132	0,506	49,383
2100	-20	25	47,6	23,4	0,934	1082	0,492	50,840
2100	-20	25	46,2	23,2	0,922	1082	0,502	49,784
2100	-20	25	47,5	23,5	0,938	1082	0,495	50,526
0	-20	35	43,3	34,9	0,988	1042	0,806	19,400
0	-20	35	41,5	34,9	0,985	1069	0,841	15,904
0	-20	35	42,9	35	1,000	1062	0,816	18,415
500	-20	35	47,9	34,1	0,935	1102	0,712	28,810
500	-20	35	49,9	33,8	0,925	1082	0,677	32,265
500	-20	35	50,6	34,4	0,963	1092	0,680	32,016
800	-20	35	51,9	34,2	0,955	1112	0,659	34,104
800	-20	35	53,5	34,3	0,964	1075	0,641	35,888
800	-20	35	53,5	34,2	0,959	1102	0,639	36,075
2100	-20	35	51,3	33,1	0,896	1019	0,645	35,478
2100	-20	35	50	32,9	0,877	1046	0,658	34,200
2100	-20	35	50,7	33	0,887	1018	0,65089	34,911



**DATOS EXPERIMENTALES.**



- 15 brix 0 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2	Promedio
Total	1	10'	-0,8	15,2	15,2	15,2
	2	10'	2	14,7	14,9	14,8
	3	10'	1,2	15,1	15	15,05
	4	10'	-0,2	15,2	15,2	15,2
	5	10'	0	15,2	15,1	15,15
	6	10'	-0,4	15,2	15	15,1
	7	10'	-0,2	15,2	15,2	15,2
	8	10'	-0,3	15,3	15,2	15,25
	9	10'	-0,4	15,3	15,1	15,2
Total	90'					
		Ensayo 2				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2	Promedio
Total	1	10'	0,4	15,2	15	15,1
	2	10'	-0,5	15,2	15,1	15,15
	3	10'	-0,7	15,3	15,1	15,2
	4	10'	-1,3	15,3	15,2	15,25
	5	10'	-0,9	17,2	17	17,1
	6	10'	-1	17,2	17,2	17,2
	7	10'	-1,5	16,8	16,7	16,75
	8	10'	-1,2	18,5	17,5	18
	9	10'	-1	17,8	17,4	17,6
Total	90'					
		Ensayo 3				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2	Promedio
Total	1	10'	0,4	15,3	15,1	15,2
	2	10'	-0,6	15	14,9	14,95
	3	10'	-0,6	15,4	15,4	15,4
	4	10'	-1	16	16	16
	5	10'	-1	15,9	15,8	15,85
	6	10'	-0,8	15,8	15,7	15,75
	7	10'	-0,8	16,8	16,9	16,85
	8	10'	-0,9	18,3	18,4	18,35
	9	10'	-1	18,2	17,7	17,95
Total	90'					

- 15 brix 500 rpm -10°C

		Ensayo 3				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2	Promedio
Total	1	10'	-1,1	16,1	16,4	16,25
	2	10'	-0,8	17,8	17,5	17,65
	3	10'	-1	18	18,1	18,05
	4	10'	-1	20	19,9	19,95
	5	10'	-1,1	21,3	21,1	21,2
	6	10'	-1,3	22,6	22,2	22,4
	7	10'	-1,4	23,8	23,2	23,5
	8	10'	-1,6	25,1	25,1	25,1
	9	10'	-1,8	26,6	26,4	26,5
Total		90'				
		Ensayo 4				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2	Promedio
Total	1	10'	-0,8	16,6	16,7	16,65
	2	10'	-0,8	17	17	17
	3	10'	-1	18,7	17,4	18,05
	4	10'	-1	19,8	19,6	19,7
	5	10'	-1,1	21,1	21,1	21,1
	6	10'	-1,2	22,3	22,2	22,25
	7	10'	-1,4	22,9	23,4	23,15
	8	10'	-1,6	24,4	24,9	24,65
	9	10'	-1,7	25,9	26,1	26
Total		90'				
		Ensayo 5				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2	Promedio
Total	1	10'	-0,7	16,4	16,4	16,4
	2	10'	-0,8	17,5	17,7	17,6
	3	10'	-1	18,7	19	18,85
	4	10'	-1,1	20,1	20,2	20,15
	5	10'	-1,2	21,2	21,5	21,35
	6	10'	-1,4	23,1	23,2	23,15
	7	10'	-1,4	24,1	24,1	24,1
	8	10'	-1,6	25,1	25,4	25,25
	9	10'	-1,8	26,6	27	26,8
Total		90'				

- 15 brix 800 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1	16,8	16,5	16,65
	2	10'	-0,9	17,7	17,9	17,8
	3	10'	-1,1	18,8	18,7	18,75
	4	10'	-1,1	20,7	20,8	20,75
	5	10'	-1,4	22,7	22,1	22,4
	6	10'	-1,5	24,4	24,8	24,6
	7	10'	-1,8	25,6	25,3	25,45
	8	10'	-1,9	26,7	26,6	26,65
	9	10'	-2,2	28,7	29,1	28,9
Total	90'					
		Ensayo 2				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-0,8	15,6	15,9	15,75
	2	10'	-0,8	16,9	17,1	17
	3	10'	-0,8	17,8	18	17,9
	4	10'	-1	19,5	19,7	19,6
	5	10'	-1,2	21,3	21,5	21,4
	6	10'	-1,4	23	23,3	23,15
	7	10'	-1,5	25	25	25
	8	10'	-1,5	26,5	26,7	26,6
	9	10'	-2,1	28,3	28,5	28,4
Total	90'					
		Ensayo 3				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1	16,1	16	16,05
	2	10'	-0,9	17,3	17,3	17,3
	3	10'	-1	18,6	18,9	18,75
	4	10'	-1,1	19,9	20,3	20,1
	5	10'	-1,1	21,8	22	21,9
	6	10'	-1,3	22,9	23,4	23,15
	7	10'	-1,6	24,1	24,1	24,1
	8	10'	-1,7	25,7	25,5	25,6
	9	10'	-1,9	27,6	27,5	27,55
Total	90'					

- 15 brix 2100 rpm -10°C

		Ensayo 1			
		T°	Brix		
			1	2	Promedio
1	10'	-0,9	16,9	16,9	16,9
2	10'	-0,9	18,9	19	18,95
3	10'	-1	20,1	20,1	20,1
4	10'	-1,3	21,8	21,9	21,85
5	10'	-1,7	24	24,8	24,4
6	10'	-1,8	26,2	26,7	26,45
7	10'	-2	28,8	28,8	28,8
8	10'	-2,4	31,6	31	31,3
9	10'	-2,8	33,8	33,8	33,8
Total	90'				
		Ensayo 2			
		T°	Brix		
			1	2	Promedio
1	10'	-0,8	17,3	17,1	17,2
2	10'	-1	19	19,1	19,05
3	10'	-1,1	21,4	21	21,2
4	10'	-1,4	23,4	23,2	23,3
5	10'	-1,7	25	24,5	24,75
6	10'	-1,9	27,5	27,3	27,4
7	10'	-2,1	28,2	28,5	28,35
8	10'	-2,6	31,7	32	31,85
9	10'	-2,9	33,7	33,7	33,7
Total	90'				
		Ensayo 3			
		T°	Brix		
			1	2	Promedio
1	10'	-1	16,9	16,8	16,85
2	10'	-1,1	19,2	19,5	19,35
3	10'	-1,2	21,1	21,4	21,25
4	10'	-1,4	23,2	24	23,6
5	10'	-1,7	26,3	26,5	26,4
6	10'	-1,8	28	27	27,5
7	10'	-2,2	28,8	29	28,9
8	10'	-2,5	32,5	31,8	32,15
9	10'	-2,7	33,2	33,3	33,25
Total	90'				

- 25 brix 0 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,5	25	25,9	25,45
	2	10'	-1,5	25	25,9	25,45
	3	10'	-1,7	25,1	25,7	25,4
	4	10'	-2	24,9	25,8	25,35
	5	10'	-2,1	25,2	25,8	25,5
	6	10'	-2	25	25,9	25,45
	7	10'	-2	28,6	29,2	28,9
	8	10'	-2,3	28,7	28,1	28,4
	9	10'	-1,7	26,4	26,8	26,6
Total	90'					
		Ensayo 2				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,3	25,1	25,9	25,5
	2	10'	-1,9	25,1	26	25,55
	3	10'	-2	25,2	26,1	25,65
	4	10'	-1,8	25,1	25,9	25,5
	5	10'	-1,9	25,1	26	25,55
	6	10'	-1,8	25,2	25,6	25,4
	7	10'	-2	25,2	26	25,6
	8	10'	-2,3	25,4	26	25,7
	9	10'	-2,7	25,7	26,4	26,05
Total	90'					
		Ensayo 3				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,7	25,4	26,2	25,8
	2	10'	-1,8	25,2	26,1	25,65
	3	10'	-1,7	25,2	24,6	24,9
	4	10'	-1,8	25,8	26,4	26,1
	5	10'	-1,7	25,6	26,3	25,95
	6	10'	-1,5	26,3	26,7	26,5
	7	10'	-1,8	26,3	26,7	26,5
	8	10'	-1,9	26,5	26,3	26,4
	9	10'	-1,8	26,4	26,5	26,45
Total	90'					

- 25 brix 500 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,7	25,9	26,1	26
	2	10'	-2	27,1	27,1	27,1
	3	10'	-2,1	28,6	29,2	28,9
	4	10'	-2,2	29,8	30	29,9
	5	10'	-2,4	30,5	30,8	30,65
	6	10'	-2,6	31,7	32	31,85
	7	10'	-2,4	32,7	32,5	32,6
	8	10'	-2,3	32,9	32,9	32,9
	9	10'	-2,3	33,9	33,7	33,8
Total	90'					
		Ensayo 2				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,9	26,8	27,1	26,95
	2	10'	-2,1	27,8	27,8	27,8
	3	10'	-2	28,2	28,4	28,3
	4	10'	-2,3	28,8	28,5	28,65
	5	10'	-2	30,1	29,8	29,95
	6	10'	-2,4	30,8	31,1	30,95
	7	10'	-2,3	31,3	31,1	31,2
	8	10'	-2,5	32,6	32,3	32,45
	9	10'	-2,3	33,8	33,2	33,5
Total	90'					
		Ensayo 3				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-2,3	26,8	26,9	26,85
	2	10'	-2	28,4	28,5	28,45
	3	10'	-2,1	29,1	29,2	29,15
	4	10'	-2,1	30,5	30,1	30,3
	5	10'	-2,3	31,3	31,1	31,2
	6	10'	-2,2	31,6	31,6	31,6
	7	10'	-2,5	32,2	32,3	32,25
	8	10'	-2,6	32,7	32,8	32,75
	9	10'	-2,5	33,4	33,5	33,45
Total	90'					

- 25 brix 800 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,8	26,8	26,7	26,75
	2	10'	-2,1	28,8	29,2	29
	3	10'	-2,3	30,7	30,7	30,7
	4	10'	-2,5	32	32,4	32,2
	5	10'	-2,8	33,7	33,7	33,7
	6	10'	-2,7	34,3	34,6	34,45
	7	10'	-3	35,9	36,1	36
	8	10'	-3,5	37,2	37,1	37,15
	9	10'	-3,8	38,1	38	38,05
Total		90'				
		Ensayo 2				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,9	27,1	27,3	27,2
	2	10'	-2,1	29,8	29,8	29,8
	3	10'	-2,4	31,2	31,5	31,35
	4	10'	-2,7	33	33	33
	5	10'	-2,8	34	34	34
	6	10'	-2,9	34,8	35,2	35
	7	10'	-3,1	35,8	35,9	35,85
	8	10'	-3,3	37	37	37
	9	10'	-3,5	37,9	37,3	37,6
Total		90'				
		Ensayo 3				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-1,8	27,2	27,2	27,2
	2	10'	-2,1	29,4	29,7	29,55
	3	10'	-3,3	32,1	32,2	32,15
	4	10'	-2,9	33,1	33,4	33,25
	5	10'	-2,9	34,3	34,1	34,2
	6	10'	-3	35,3	35,8	35,55
	7	10'	-3,3	36,3	36,1	36,2
	8	10'	-3,4	37,3	37,2	37,25
	9	10'	-3,7	38	37,8	37,9
Total		90'				



- 25 brix 2100 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-2,1	27	27,2	27,1
	2	10'	-2,2	29,5	29,5	29,5
	3	10'	-2,6	31,9	31,6	31,75
	4	10'	-3	34,1	34,1	34,1
	5	10'	-3,3	35,6	35,6	35,6
	6	10'	-3,5	36,5	36,9	36,7
	7	10'	-3,9	38,8	39	38,9
	8	10'	-4,1	40,4	40,8	40,6
	9	10'	-4,3	41,2	41,2	41,2
Total	90'					
		Ensayo 2				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-1,9	25,5	25,6	25,55
	2	10'	-2	27,9	27,8	27,85
	3	10'	-2,4	30,8	31	30,9
	4	10'	-2,8	32,6	32,3	32,45
	5	10'	-3,1	35	35,1	35,05
	6	10'	-3,4	36,6	36,2	36,4
	7	10'	-3,7	37,2	37,1	37,15
	8	10'	-3,9	36,3	34,2	35,25
	9	10'	-4,2	39,9	39,7	39,8
Total	90'					
		Ensayo 3				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-2,2	27,8	27,5	27,65
	2	10'	-2,3	30,2	30	30,1
	3	10'	-2,6	31,3	31,6	31,45
	4	10'	-3	34	34,4	34,2
	5	10'	-3,4	35,9	35,6	35,75
	6	10'	-3,6	36,6	36,6	36,6
	7	10'	-3,9	39,4	39,4	39,4
	8	10'	-4,1	39,8	39,8	39,8
	9	10'	-4,2	41,1	41,3	41,2
Total	90'					

- 35 brix 0 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-5,3	34,9	34,9	34,9
	2	10'	-3,7	34,9	34,9	34,9
	3	10'	-3,3	35,6	35,7	35,65
	4	10'	-3,1	36,6	36,6	36,6
	5	10'	-3,3	36,5	36,1	36,3
	6	10'	-3,8	36,5	36,5	36,5
	7	10'	-3,9	36,8	36,5	36,65
	8	10'	-3,3	37	37	37
	9	10'	-3,8	36,5	36,5	36,5
Total		90'				
		Ensayo 2				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-6,3	35,8	36	35,9
	2	10'	-6	35,8	35,8	35,8
	3	10'	-3,6	36,5	36,5	36,5
	4	10'	-3,5	36,6	36,5	36,55
	5	10'	-3,6	36,5	36,6	36,55
	6	10'	-3,5	36,8	36,8	36,8
	7	10'	-3,4	36,5	36,5	36,5
	8	10'	-4,6	38,4	38,6	38,5
	9	10'	-4,5	40,6	39,8	40,2
Total		90'				
		Ensayo 3				
		T°	Brix			
			1	2	Promedio	
Total	1	10'	-4,8	35,3	35,3	35,3
	2	10'	-7,2	35,5	35,5	35,5
	3	10'	-8	35,6	35,6	35,6
	4	10'	-4,2	35,8	35,7	35,75
	5	10'	-4	36,6	36,3	36,45
	6	10'	-3,6	36,6	36,6	36,6
	7	10'	-3,5	37,3	37,2	37,25
	8	10'	-3,6	36,6	36,6	36,6
	9	10'	-3,6	38,6	37,3	37,95
Total		90'				

- 35 brix 500 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,2	35,6	35,5	35,55
	2	10'	-3,6	37	36,5	36,75
	3	10'	-3,8	36,5	36,5	36,5
	4	10'	-3,9	37,6	37,7	37,65
	5	10'	-4,1	38,9	37,1	38
	6	10'	-4,6	38,7	38	38,35
	7	10'	-4,3	40,4	38,8	39,6
	8	10'	-5,3	41,7	41,7	41,7
	9	10'	-4,8	42,1	41,7	41,9
Total	90'					
		Ensayo 2				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,6	36,6	36,5	36,55
	2	10'	-3,9	37,8	37,8	37,8
	3	10'	-3,8	37,4	37,7	37,55
	4	10'	-4	38,1	37,9	38
	5	10'	-4,1	38,7	38,6	38,65
	6	10'	-4,1	40,1	38,7	39,4
	7	10'	-4,6	39,6	39,8	39,7
	8	10'	-5	41,7	40,4	41,05
	9	10'	-4,8	41,8	41,5	41,65
Total	90'					
		Ensayo 3				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,4	36	36,5	36,25
	2	10'	-3,7	36,6	36,6	36,6
	3	10'	-3,9	37,1	39,1	38,1
	4	10'	-4	38,7	38,9	38,8
	5	10'	-4	40	39,6	39,8
	6	10'	-4,1	40,3	40,2	40,25
	7	10'	-4,5	40,8	40,8	40,8
	8	10'	-4,7	41,6	41	41,3
	9	10'	-5,7	41,6	41,6	41,6
Total	90'					

- 35 brix 800 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	1,8	35,1	35,1	35,1
	2	10'	2,3	35,1	35,1	35,1
	3	10'	2,9	35	35	35
	4	10'	3,4	35	35	35
	5	10'	-3	35,4	35,2	35,3
	6	10'	-3,6	36,5	36,1	36,3
	7	10'	-3,8	36,6	36,6	36,6
	8	10'	-4,1	38,8	38,6	38,7
	9	10'	-4,3	41,4	41,2	41,3
Total	90'					
		Ensayo 2				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,4	35,7	35,7	35,7
	2	10'	-3,7	36,5	36,5	36,5
	3	10'	-4,1	39,1	38,9	39
	4	10'	-4,3	40,4	39,9	40,15
	5	10'	-4,4	41,3	41	41,15
	6	10'	-4,5	39,4	38,8	39,1
	7	10'	-4,7	41,7	41,7	41,7
	8	10'	-4,8	41,6	41,5	41,55
	9	10'	-4,8	41,8	41,8	41,8
Total	90'					
		Ensayo 3				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,3	35,6	35,7	35,65
	2	10'	-3,6	38,7	38,3	38,5
	3	10'	-4	40,5	40,9	40,7
	4	10'	-4,4	40,6	40,5	40,55
	5	10'	-4,5	41,7	41,5	41,6
	6	10'	-4,7	43,1	41,7	42,4
	7	10'	-4,9	42,5	41,9	42,2
	8	10'	-5,1	43,5	42,9	43,2
	9	10'	-5,2	43,6	43,6	43,6
Total	90'					

- 35 brix 2100 rpm -10°C

		Ensayo 1				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,6	36,5	36,4	36,45
	2	10'	-3,8	37,8	36,5	37,15
	3	10'	-4,3	41,4	36,5	38,95
	4	10'	-4,8	41,7	41,5	41,6
	5	10'	-5,1	43,6	41,7	42,65
	6	10'	-5,3	41,6	37,6	39,6
	7	10'	-5,5	44,7	44,7	44,7
	8	10'	-5,7	46,2	46,2	46,2
	9	10'	-5,7	45,5	45,5	45,5
Total	90'					
		Ensayo 2				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,3	36,6	36,5	36,55
	2	10'	-3,8	38,5	37,8	38,15
	3	10'	-4,3	39,7	38,2	38,95
	4	10'	-4,7	40,5	38,9	39,7
	5	10'	-4,8	42	41,8	41,9
	6	10'	-4,9	40,5	4,02	22,26
	7	10'	-5,2	42,1	42	42,05
	8	10'	-5,3	43,2	43,2	43,2
	9	10'	-5,4	44	43,5	43,75
Total	90'					
		Ensayo 3				
		Tiempo	T°	Brix		
				1	2 Promedio	
Total	1	10'	-3,4	36,1	36,1	36,1
	2	10'	-3,8	36,6	36,6	36,6
	3	10'	-4,2	37,8	37,8	37,8
	4	10'	-4,5	38,5	38,2	38,35
	5	10'	-4,9	41,5	41,5	41,5
	6	10'	-5,2	41,7	41,7	41,7
	7	10'	-5,3	41,8	41,7	41,75
	8	10'	-5,5	44,4	40,5	42,45
	9	10'	-5,7	44	43,5	43,75
Total	90'					

- 15 brix 0 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,3	15,3	15,3
	2	10'	-0,9	15,4	15,4
	3	10'	-1,2	15,8	15,4
	4	10'	-1,2	18,9	18,5
	5	10'	-1,2	19,5	19,4
	6	10'	-1,6	21,2	20,8
	7	10'	-1,6	20	19,8
	8	10'	-1,7	23,6	23,3
	9	10'	-1,8	26,9	20,8
Total	90'				
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,5	15,5	15,3
	2	10'	-0,9	15,5	15,4
	3	10'	-1,1	16,2	16,1
	4	10'	-1,1	19,4	17,3
	5	10'	-1,3	20,3	18,5
	6	10'	-1,5	21	19,4
	7	10'	-1,5	20,3	19,8
	8	10'	-1,8	24,2	21,9
	9	10'	-1,8	25,8	23,6
Total	90'				
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,8	15,3	15,3
	2	10'	-0,9	16,5	16,1
	3	10'	-1	17	15,8
	4	10'	-1,1	19	16,9
	5	10'	-1,2	19,7	19,5
	6	10'	-1,5	19,7	19,6
	7	10'	-1,6	22,8	22,6
	8	10'	-1,8	24,9	2,5
	9	10'	-1,8	27,5	23,8
Total	90'				

- 15 brix 500 rpm -15°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-0,8	16,6	16,5
	2	10'	-0,9	17,8	17,9
	3	10'	-1	19	19
	4	10'	-1,1	20,4	20,4
	5	10'	-1,3	21,9	21,8
	6	10'	-1,4	23,1	22,8
	7	10'	-1,5	24,6	24,5
	8	10'	-1,7	25,5	25,4
	9	10'	-2,1	26,4	26,5
Total		90'			
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-0,8	16,3	16,3
	2	10'	-0,9	17,4	17,3
	3	10'	-0,9	18,8	18,6
	4	10'	-1	19,9	19,8
	5	10'	-1,3	20,8	20,6
	6	10'	-1,2	22,3	22,3
	7	10'	-1,5	23,8	23,8
	8	10'	-1,6	25,6	25,5
	9	10'	-1,8	26,9	26,9
Total		90'			
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-0,9	16,9	16,8
	2	10'	-0,8	18,3	18,2
	3	10'	-1	19,7	19,6
	4	10'	-1,2	21,1	21,1
	5	10'	-1,3	22,5	22,4
	6	10'	-1,4	23,8	23,8
	7	10'	-1,6	25,6	25,2
	8	10'	-1,8	26,6	26,6
	9	10'	-2,2	29,9	29,8
Total		90'			

- 15 brix 800 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-1	17,3	17,2
	2	10'	-1,1	19	18,8
	3	10'	-1,3	20,9	20,8
	4	10'	-1,4	22,8	22,8
	5	10'	-1,7	25,3	25,3
	6	10'	-2,1	27,9	27,8
	7	10'	-2,4	29,5	29,4
	8	10'	-2,7	32,1	32,1
	9	10'	-3,2	34,3	34,3
Total		90'			
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,9	17	17
	2	10'	-1,1	19	18,7
	3	10'	-1,2	21,1	20,9
	4	10'	-1,5	23,5	23,2
	5	10'	-1,8	25,9	25,7
	6	10'	-2	27,9	27,5
	7	10'	-2,5	30,5	30,1
	8	10'	-2,8	31,7	31,5
	9	10'	-3,1	35,4	35,4
Total		90'			
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,9	17,2	17,1
	2	10'	-1,1	19,2	19,1
	3	10'	-1,2	21,1	21,1
	4	10'	-1,4	23	22,9
	5	10'	-1,7	25,5	25,4
	6	10'	-1,9	27,5	27,5
	7	10'	-2,3	29,7	29,4
	8	10'	-2,8	32,4	32,3
	9	10'	-3,1	34,9	34,8
Total		90'			



- 15 brix 2100 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-1,2	17,9	7,8
	2	10'	-1,2	20,5	20,4
	3	10'	-1,4	23,4	23,2
	4	10'	-1,8	25,9	25,7
	5	10'	-2,2	29,8	29,8
	6	10'	-2,8	33,9	33,4
	7	10'	-3,5	36,6	36,5
	8	10'	-4,1	40,5	40,5
	9	10'	-5	41,7	41,7
Total		90'			
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,9	17,8	17,7
	2	10'	-1,2	20,4	20,3
	3	10'	-1,4	23,1	23
	4	10'	-1,9	26,3	26,3
	5	10'	-2,2	29,5	29,4
	6	10'	-2,9	33,5	33,3
	7	10'	-3,5	36,6	36
	8	10'	-4,3	40,1	40,1
	9	10'	-5,1	41,8	41,8
Total		90'			
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-1,3	18,3	18,3
	2	10'	-1,2	20,6	20,6
	3	10'	-1,4	23,2	23
	4	10'	-1,8	26,3	26
	5	10'	-2,4	30,1	29,8
	6	10'	-3,3	34	36,6
	7	10'	-4,1	38,1	38,1
	8	10'	-5,3	41,9	41,6
	9	10'	-5,8	43,5	43,5
Total		90'			

- 25 brix 0 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-0,8	25,5	25,5
	2	10'	-2	25,5	25,4
	3	10'	-2,1	27,1	27,1
	4	10'	-2,5	28,9	28,7
	5	10'	-2,3	29,6	29,6
	6	10'	-2,9	30,4	30,1
	7	10'	-3,9	33,4	33,4
	8	10'	-4,5	33,5	33,5
	9	10'	-4,5	36,4	36,4
Total		90'			
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-1,9	25,6	25,6
	2	10'	-1,9	25,6	25,6
	3	10'	-2,1	28,3	28,2
	4	10'	-2,7	30,8	29,4
	5	10'	-2,7	31,4	31,2
	6	10'	-3,2	34,2	33,9
	7	10'	-3,4	34,5	34,5
	8	10'	-3,4	34,7	34,7
	9	10'	-4,3	38,7	38,7
Total		90'			
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-1,9	25,5	25,3
	2	10'	-2	25,9	25,8
	3	10'	-2,3	26,3	26,1
	4	10'	-2,6	29,4	29,1
	5	10'	-3	30,6	30,5
	6	10'	-3,3	32,4	32,3
	7	10'	-3,3	32,6	32,5
	8	10'	-3,4	36,2	36
	9	10'	-4,4	36,6	36,6
Total		90'			

- 25 brix 500 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-1,8	26,5	26,4
	2	10'	-1,9	27,6	27,6
	3	10'	-2,1	28,9	28,7
	4	10'	-2,2	30	29,5
	5	10'	-2,4	30,7	30,7
	6	10'	-2,7	31,8	31,7
	7	10'	-3	31,8	31,6
	8	10'	-3,1	34,3	33,9
	9	10'	-3,4	35,9	35,9
Total		90'			
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,1	27,4	27,4
	2	10'	-2,2	29	28,9
	3	10'	-2,5	30,4	30,4
	4	10'	-2,6	31,8	31,8
	5	10'	-2,7	32,9	32,7
	6	10'	-3	32,8	32,5
	7	10'	-3,1	34,8	34,8
	8	10'	-3,4	34,4	36,2
	9	10'	-3,5	38,1	38
Total		90'			
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,2	26,9	26,7
	2	10'	-2,2	28,1	28
	3	10'	-2,1	29,4	29,1
	4	10'	-2,5	30,7	30,7
	5	10'	-2,5	31,7	31,6
	6	10'	-2,8	33,1	33
	7	10'	-3	34	34
	8	10'	-3,3	34,6	34,6
	9	10'	-3,5	36,6	36,3
Total		90'			

- 25 brix 800 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,1	28,2	28,1
	2	10'	-2,4	30,3	30
	3	10'	-2,6	31,7	31,7
	4	10'	-2,9	34,4	34,3
	5	10'	-3,2	34,9	34,9
	6	10'	-3,6	37,7	37,6
	7	10'	-3,7	38,2	38,2
	8	10'	-4,3	40,4	39,8
	9	10'	-4,6	42,2	42
Total		90'			
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,2	28,4	28,3
	2	10'	-2,4	30	29,6
	3	10'	-2,6	31	30,6
	4	10'	-2,9	33,8	33,3
	5	10'	-3,2	34,8	34,8
	6	10'	-3,6	36,7	36,6
	7	10'	-3,6	38	38
	8	10'	-4,2	39,2	38,9
	9	10'	-4,4	41,6	41,5
Total		90'			
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,2	27,9	27,8
	2	10'	-2,4	30,2	29,9
	3	10'	-2,6	31,2	31,2
	4	10'	-3	33,7	33,7
	5	10'	-3,1	35,6	35,6
	6	10'	-3,5	36,7	36,7
	7	10'	-4,1	38,6	38,6
	8	10'	-4,4	39,3	38,9
	9	10'	-4,7	42,3	42,3
Total		90'			

- 25 brix 2100 rpm -15°C

Ensayo 1					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,2	29	28,8
	2	10'	-2,7	32	31,6
	3	10'	-3,1	34,8	34,5
	4	10'	-3,5	36,2	36,2
	5	10'	-3,9	36,3	36,2
	6	10'	-4,4	41,4	41,4
	7	10'	-4,7	41,9	41,7
	8	10'	-5	43,5	44
	9	10'	-5,2	44,6	44,6
Total		90'			
Ensayo 2					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,4	29,6	29,6
	2	10'	-2,6	32,3	32,1
	3	10'	-3	34,8	33,6
	4	10'	-3,5	36,3	36,2
	5	10'	-4	36,9	36,4
	6	10'	-4,7	41,5	41,5
	7	10'	-4,7	42,1	41,9
	8	10'	-5	42,3	42,3
	9	10'	-5,2	43,6	43,5
Total		90'			
Ensayo 3					
		Tiempo	T°	Brix	
				1	2
Total	1	10'	-2,4	30	30
	2	10'	-2,7	32,7	32,5
	3	10'	-3,1	34,8	33,9
	4	10'	-3,6	36,2	36,2
	5	10'	-4	38,9	38,7
	6	10'	-4,5	40,2	40,6
	7	10'	-4,8	42,9	42,9
	8	10'	-5	44,1	44,1
	9	10'	-5,5	45	45
Total		90'			

- 35 brix 0 rpm -15°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-2,9	35,3	35,2
	2	10'	-3,7	35,6	35,3
	3	10'	-3,7	35,5	35,4
	4	10'	-3,9	36,2	36,2
	5	10'	-4,2	36,2	36,1
	6	10'	-4,4	38,2	38,1
	7	10'	-4,7	38,8	38
	8	10'	-4,8	40,8	40,4
	9	10'	-5,9	40,6	40,6
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,2	35,4	35,3
	2	10'	-3,9	35,4	35,2
	3	10'	-4	35,6	35,4
	4	10'	-4,2	36,2	35,8
	5	10'	-4,6	36,2	36,2
	6	10'	-5,4	36,7	36,7
	7	10'	-5,5	39,5	39
	8	10'	-6,1	39,9	39,9
	9	10'	-6,5	40	39,9
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,8	35,4	35,4
	2	10'	-3,7	35,4	35,3
	3	10'	-3,8	35,4	35,4
	4	10'	-4	36,7	36,7
	5	10'	-4,4	36,5	36,3
	6	10'	-5,6	36,3	36,2
	7	10'	-5,4	39,8	39
	8	10'	-6,2	40,3	40,2
	9	10'	-6,2	40,5	40
Total	90'				

- 35 brix 500 rpm -15°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,6	37,4	37,2
	2	10'	-4	38,8	38,4
	3	10'	-4,2	40,1	39,8
	4	10'	-4,4	40,6	40,6
	5	10'	-4,5	41,2	40,7
	6	10'	-4,6	41,9	40,6
	7	10'	-4,8	42,6	42,4
	8	10'	-5,2	43,9	43,9
	9	10'	-5,6	43,7	42,7
Total		90'			
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,5	37,1	36,7
	2	10'	-3,9	38,6	38,5
	3	10'	-4,2	39,4	39,4
	4	10'	-4,6	40	40,1
	5	10'	-4,8	40,7	39,9
	6	10'	-4,7	40,7	40,1
	7	10'	-4,9	42,3	42,3
	8	10'	-5,5	43,3	43,1
	9	10'	-6,1	45,6	45,6
Total		90'			
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,8	37,4	37,4
	2	10'	-4	39,1	38,9
	3	10'	-4,5	40,1	39,8
	4	10'	-4,5	40,6	40,6
	5	10'	-4,6	40,7	40,4
	6	10'	-5,6	42	41,9
	7	10'	-5,5	42,5	42,1
	8	10'	-5,6	45,2	44,4
	9	10'	-6,3	46,3	46
Total		90'			

- 35 brix 800 rpm -15°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-3,9	38,4	38,1	
	2	10'	-4,3	40,2	39,9
	3	10'	-4,9	42,4	42
	4	10'	-5	42,9	42,8
	5	10'	-5,8	43,3	43
	6	10'	-5,9	45	44
	7	10'	-6,3	46,4	45,9
	8	10'	-6,7	47	47
	9	10'	-7,5	48,6	48,6
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-3,8	37,6	37,6	
	2	10'	-4,3	40,6	40,3
	3	10'	-4,7	41,8	41,1
	4	10'	-4,9	43,1	42,8
	5	10'	-5,4	43,4	43,4
	6	10'	-5,3	45,2	45
	7	10'	-5,8	47,7	47,7
	8	10'	-6,3	48,9	48,9
	9	10'	-6,4	51,1	49
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-3,9	37,6	37,5	
	2	10'	-4,2	39,1	38,8
	3	10'	-4,5	41,9	41,8
	4	10'	-4,9	43	42,9
	5	10'	-5,3	43,7	43,6
	6	10'	-5,5	44,4	44,4
	7	10'	-5,7	46,4	46,4
	8	10'	-6,2	47,1	47,1
	9	10'	-6,6	49,2	49,1
Total	90'				



- 35 brix 2100 rpm -15°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-4	38,9	38,7
	2	10'	-4,6	41,4	40,9
	3	10'	-5,2	42,7	42,7
	4	10'	-5,8	45,8	45,8
	5	10'	-6,1	47,1	46,8
	6	10'	-6,2	47,8	47,8
	7	10'	-6,6	49	49
	8	10'	-6,8	47,5	47,5
	9	10'	-7	50	50
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,9	38,2	38,2
	2	10'	-4,4	40,8	40,6
	3	10'	-5,1	42,4	42,4
	4	10'	-5,4	43,7	43,3
	5	10'	-5,8	46,6	46,6
	6	10'	-6,2	47,5	47,5
	7	10'	-6,5	48,5	48,3
	8	10'	-6,6	48,9	48,9
	9	10'	-6,8	49,8	49,8
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-4,2	38,2	38
	2	10'	-4,4	42,2	37,8
	3	10'	-5	43,2	43,2
	4	10'	-6	-6,1	44,8
	5	10'	-6	47	47
	6	10'	-6,2	47,5	47,5
	7	10'	-6,4	48,3	48
	8	10'	-6,6	49,1	49,1
	9	10'	-6,8	48,3	45,4
Total	90'				

- 15 brix 0 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-1,1	15,6	15,6
	2	10'	-1	16,4	16,1
	3	10'	-1,2	17,5	16,6
	4	10'	-1,4	18,7	18,6
	5	10'	-1,5	19,9	19,7
	6	10'	-1,7	21,5	20
	7	10'	-1,6	22,8	22,8
	8	10'	-1,9	23,8	23,1
	9	10'	-2	26,4	25,9
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-0,9	15,6	15,6
	2	10'	-1	16,8	16,5
	3	10'	-1,2	18,2	17,9
	4	10'	-1,4	20,4	19,9
	5	10'	-1,7	21,5	21,5
	6	10'	-1,7	23,5	23,5
	7	10'	-1,8	24,1	24,1
	8	10'	-2	26,9	26,4
	9	10'	-2,2	28,3	26,1
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-0,9	15,8	15,8
	2	10'	-1,1	16,2	15,9
	3	10'	-1,3	18,4	18,1
	4	10'	-1,4	20	19,6
	5	10'	-1,5	23,2	23,2
	6	10'	-1,8	23,5	23,3
	7	10'	-2,1	24,5	24,5
	8	10'	-2,1	25,2	24,8
	9	10'	-2,3	26,6	26,6
Total	90'				

- 15 brix 250 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-0,9	17	17	
	2	10'	-1	18,7	18,7
	3	10'	-1,1	20,4	20,4
	4	10'	-1,3	22,1	22
	5	10'	-1,5	23,8	23,8
	6	10'	-1,8	25,9	25,7
	7	10'	-2,1	28,6	28,5
	8	10'	-2,6	32,5	31,7
	9	10'	-3,8	37,1	37,1
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-0,9	16,9	16,8	
	2	10'	-1	18,5	18,5
	3	10'	-1,1	20,2	20,2
	4	10'	-1,1	22,1	22
	5	10'	-1,5	23,8	23,8
	6	10'	-1,8	25,8	25,7
	7	10'	-2,1	28,3	28,1
	8	10'	-2,7	32,4	32,2
	9	10'	-3,8	40,8	40,1
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-0,9	17,1	17,1	
	2	10'	-1	18,7	18,4
	3	10'	-1,2	20,4	20,1
	4	10'	-1,4	22	21,8
	5	10'	-1,6	23,8	23,8
	6	10'	-1,7	26,1	25,9
	7	10'	-2,1	29,1	28,9
	8	10'	-2,9	33,5	33,5
	9	10'	-4,4	40,6	39,8
Total	90'				

- 15 brix 800 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-1	16,8	16,3
	2	10'	-1,1	18,9	18,9
	3	10'	-1,3	21,4	21,2
	4	10'	-1,6	24,3	24,3
	5	10'	-1,9	27,2	27,1
	6	10'	-2,4	30,3	30,3
	7	10'	-2,9	32,5	32,4
	8	10'	-3,9	38,1	36,8
	9	10'	-4,3	42,3	42,3
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-1	17,4	17,4
	2	10'	-1,2	19,6	19,5
	3	10'	-1,4	21,9	21,8
	4	10'	-1,7	24,7	24,7
	5	10'	-2	27,4	27,4
	6	10'	-2,4	30,6	30,3
	7	10'	-3	33,4	33,4
	8	10'	-3,2	38,1	38
	9	10'	-5	41,3	40,7
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-0,9	17,4	17,3
	2	10'	-1,2	19,2	19,1
	3	10'	-1,3	21,7	21,7
	4	10'	-1,6	24,7	24,3
	5	10'	-2	26,7	26,7
	6	10'	-2,5	30,7	30,7
	7	10'	-3,1	34,3	33,7
	8	10'	-3,9	38,1	37,7
	9	10'	-5	43,8	43,4
Total	90'				

- 25 brix 2100 rpm -15°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-1	18,5	18,4
	2	10'	-1,3	21,4	21,4
	3	10'	-1,7	25,1	25,1
	4	10'	-2	29,5	28,9
	5	10'	-3,2	34,9	34,8
	6	10'	-4,5	39,5	39,4
	7	10'	-5,6	42	42
	8	10'	-6	47	46,1
	9	10'	-9,4	47,1	47
Total		90'			
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-1	18,9	18,6
	2	10'	-1,4	21,6	21,4
	3	10'	-1,7	25,8	25,8
	4	10'	-2,2	28,9	28,5
	5	10'	-3,1	34,5	34,3
	6	10'	-4,5	41,2	41,2
	7	10'	-5,1	42,7	42,5
	8	10'	-6	47	46,1
	9	10'	-9,4	47,3	46,8
Total		90'			
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-1	18,3	18
	2	10'	-1,4	21,3	21,2
	3	10'	-1,7	24,7	24,7
	4	10'	-2,1	28,3	28,2
	5	10'	-2,7	33	32,7
	6	10'	-3,4	37,5	36,8
	7	10'	-4,2	40,5	40,3
	8	10'	-4,6	42,3	42,3
	9	10'	-5,1	46,8	46
Total		90'			

- 25 brix 0 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-1,8	24,9	25	
	2	10'	-1,5	24,9	24,8
	3	10'	-1,8	25,5	25,2
	4	10'	-2,1	28,1	27,8
	5	10'	-1,9	28,6	28,7
	6	10'	-1,9	29,9	29,9
	7	10'	-2	31,9	31,6
	8	10'	-1,9	31,9	31,7
	9	10'	-1,9	32,1	31,9
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-1,8	25,4	25,6	
	2	10'	-1,6	25,5	25,5
	3	10'	-1,7	25,6	25,7
	4	10'	-1,8	25,8	26,1
	5	10'	-2,2	27,5	27,7
	6	10'	-2	29,1	29,5
	7	10'	-2,1	31,1	31
	8	10'	-2	33,4	29,2
	9	10'	-2,1	34	33,8
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-1,8	25,2	25,3	
	2	10'	-1,7	25,3	25,3
	3	10'	-1,8	25,3	25,3
	4	10'	-1,8	25,3	25,4
	5	10'	-2,4	26,6	26,8
	6	10'	-2,1	29,7	29,6
	7	10'	-2,2	30,2	26,5
	8	10'	-2,2	31,3	31,3
	9	10'	-2,3	34,7	34,7
Total	90'				

- 25 brix 500 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,3	27,4	27,4	
	2	10'	-2,2	29,5	29,5
	3	10'	-2,5	31,4	31,4
	4	10'	-2,7	33,7	32,9
	5	10'	-3,3	34,3	33,8
	6	10'	-4	36,8	36,8
	7	10'	-4,4	37,5	37,5
	8	10'	-5,4	41,9	39,8
	9	10'	-6,6	43,7	41,9
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2	27,1	27,1	
	2	10'	-2,2	29,2	28,8
	3	10'	-2,4	30,9	30,8
	4	10'	-2,8	32,7	32
	5	10'	-3	34,4	33,9
	6	10'	-3,6	36,2	35,8
	7	10'	-4,9	39,9	39,9
	8	10'	-5,2	41,9	41,9
	9	10'	-8,6	46,9	45,2
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-1,9	26,6	26,5	
	2	10'	-2,1	28	28
	3	10'	-2,3	29,5	29,5
	4	10'	-2,6	31	31
	5	10'	-2,8	32,6	32,4
	6	10'	-3	34	33,7
	7	10'	-3,6	36,9	36,9
	8	10'	-4,2	40,8	40
	9	10'	-5,4	43,6	43,6
Total	90'				

- 25 brix 800 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,7	28,5	28,5	
	2	10'	-2,6	31,2	30,5
	3	10'	-3,1	33,8	33,6
	4	10'	-3,6	36,8	36,1
	5	10'	-4	39,1	38
	6	10'	-4,8	42,5	41,3
	7	10'	-5,8	44,9	44,4
	8	10'	-6,1	45,6	45
	9	10'	-8,4	50,6	50,6
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,1	28	27,5	
	2	10'	-2,4	30,5	30,4
	3	10'	-2,8	32,7	32,6
	4	10'	-3,1	35	34,8
	5	10'	-3,7	37,3	36,9
	6	10'	-5,2	40,4	39,6
	7	10'	-6,2	47,8	47,8
	8	10'	-8,2	47,8	47,8
	9	10'	-8,8	48,8	49
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,2	28,1	28,1	
	2	10'	-2,5	30,7	30,5
	3	10'	-2,8	32,7	32,4
	4	10'	-3,1	35,2	34,9
	5	10'	-3,4	36,7	36,4
	6	10'	-4,7	43,5	40
	7	10'	-5,1	44,3	40,7
	8	10'	-7	45	42,3
	9	10'	-4,6	46,6	45,3
Total	90'				



- 25 brix 2100 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,3	29,5	29,2	
	2	10'	-2,8	32,7	32,6
	3	10'	-3,3	35	35
	4	10'	-3,8	38,9	38,9
	5	10'	-4,5	41,9	41,3
	6	10'	-5,2	43,4	42
	7	10'	-5,5	44,3	43,8
	8	10'	-6	46,6	45,9
	9	10'	-6,7	47,6	47,6
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,3	28,9	28,9	
	2	10'	-2,8	32,6	31,3
	3	10'	-3,3	35,9	34,9
	4	10'	-3,8	38,6	38,6
	5	10'	-4,4	41,2	40
	6	10'	-4,8	41,9	41,9
	7	10'	-5,2	44,6	44,3
	8	10'	-5,7	45	45
	9	10'	-6,1	46,2	46,2
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-2,4	29,5	28,4	
	2	10'	-2,8	33,5	33,5
	3	10'	-3,4	36,3	36,2
	4	10'	-3,9	39	38,3
	5	10'	-4,5	41,8	41,7
	6	10'	-4,9	43,5	43,2
	7	10'	-5,4	44,4	44,4
	8	10'	-5,8	45,7	45,7
	9	10'	-6	47,5	46
Total	90'				

- 35 brix 0 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,7	35,3	35,3
	2	10'	-3,7	35,3	35,3
	3	10'	-3,7	35,4	35,4
	4	10'	-5,8	36,8	36,8
	5	10'	-7,6	36,9	36,8
	6	10'	-8,6	38,4	38,4
	7	10'	-9,9	39,3	39,3
	8	10'	-10,4	40,7	40
	9	10'	-10,5	43,3	43,3
Total		90'			
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-3,6	35,6	35,6
	2	10'	-3,7	35,6	35,3
	3	10'	-4,1	35,6	35,4
	4	10'	-5,5	36,8	36,2
	5	10'	-5,7	39,1	39,1
	6	10'	-7,2	39,1	38,4
	7	10'	-9,9	41	41
	8	10'	-9,5	41,4	41,4
	9	10'	-11	41,5	41,5
Total		90'			
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
Total	1	10'	-4,1	35,5	35,5
	2	10'	-4,3	35,6	35,5
	3	10'	-4,3	35,5	35,5
	4	10'	-6,6	36,8	36,8
	5	10'	-7,8	38,6	36,8
	6	10'	-8,6	38,9	38,9
	7	10'	-8,9	38,9	38,9
	8	10'	-9,6	40,8	40,5
	9	10'	-10,5	42,9	40,8
Total		90'			

- 35 brix 250 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-3,8	37,2	36,9	
	2	10'	-4	39,4	39,4
	3	10'	-4,4	40,7	40,4
	4	10'	-5,5	41,4	41,1
	5	10'	-7,7	42	42
	6	10'	-8,3	44,3	44,2
	7	10'	-10	46,9	46,5
	8	10'	9,3	45,8	45,8
	9	10'	-11	47,9	47,8
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-3,7	37,1	37	
	2	10'	-4	39	38,5
	3	10'	-5,5	40,1	39,8
	4	10'	-6,4	42,2	41,5
	5	10'	-7,2	42,2	42,2
	6	10'	-9,2	43,8	43,8
	7	10'	-9,6	45,6	45,3
	8	10'	-10,3	47,8	46,7
	9	10'	-10,9	49,9	49,8
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-3,8	38,1	38,1	
	2	10'	-4,5	39,9	39,8
	3	10'	-5,7	41,3	40,4
	4	10'	-7,6	42,3	42,3
	5	10'	-7,8	43,7	43,2
	6	10'	-9,8	45,1	45
	7	10'	-12,3	48	43,5
	8	10'	-12,3	48,4	46,8
	9	10'	-13,5	50,6	
Total	90'				

- 35 brix 800 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-4,2	39	38,2	
	2	10'	-4,8	41,4	40,7
	3	10'	-5,9	41,4	41,4
	4	10'	-9,2	43,3	43,3
	5	10'	-9,6	44,6	44,1
	6	10'	-9,8	46,8	46,5
	7	10'	-11,7	46,9	46,8
	8	10'	-13,3	52,1	52,1
	9	10'	-13,2	51,9	51,9
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-4,2	39	38,9	
	2	10'	-6,1	41,1	41,1
	3	10'	-7,5	43,1	43,1
	4	10'	-8,9	44,2	44,2
	5	10'	-10	45	43,9
	6	10'	-10,8	52	47,2
	7	10'	-12,4	49,1	49,1
	8	10'	-12,8	52	48,7
	9	10'	-13,4	53,5	53,5
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-4,7	38,8	38,4	
	2	10'	-5	40,5	40,5
	3	10'	-6	42,1	41,1
	4	10'	-7,3	43,8	43,8
	5	10'	-7,1	45,8	45,3
	6	10'	-10,7	45,5	45
	7	10'	-10,9	47,8	47,8
	8	10'	-12,5	49,3	48,9
	9	10'	-12,9	53,5	46,8
Total	90'				

- 35 brix 2100 rpm -20°C

Ensayo 1					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-4,2	38,9	39	
	2	10'	-5,3	41,4	41,4
	3	10'	-5,6	45,1	44
	4	10'	-6,4	46,8	45
	5	10'	-7,6	46,8	46,5
	6	10'	-7,4	47,1	47,1
	7	10'	-8,7	50,2	46,8
	8	10'	-9,8	50,5	48,8
	9	10'	-9,4	51,3	50,5
Total	90'				
Ensayo 2					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-4,1	39,1	38,7	
	2	10'	-6,2	41,3	41,3
	3	10'	-5,4	44,3	44
	4	10'	-6,1	46,3	44,1
	5	10'	-6,7	47	46,8
	6	10'	-7,8	48,5	48,5
	7	10'	-8,1	48,5	46,7
	8	10'	-9,2	50	46,7
	9	10'	-9	49,1	49,1
Total	90'				
Ensayo 3					
Tiempo		T°	Brix		
			1	2	
1	10'	-4,2	39,5	39,1	
	2	10'	-4,9	41,4	41,4
	3	10'	-5	43,7	43,1
	4	10'	-6,2	46,8	45,2
	5	10'	-7,1	46,8	46,8
	6	10'	-8,2	49,1	48,8
	7	10'	-8,8	49,9	49,9
	8	10'	-8,2	50,5	50,5
	9	10'	9,4	50,7	49,6
Total	90'				

