

# EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONGELACION RÁPIDA "IQF" (INDIVIDUALLY QUICK FREEZING) PARA LA CONSERVACIÓN DE LA MORA DE CASTILLA

Luz Mary Montes R.\*; José Jaime Castaño Castrillón\*\*; Carlos E. Orrego\*\*\*

## RESUMEN

**MONTES R., L.M.; CASTAÑO C., J. J.; ORREGO, C.E. Evaluación del sistema de congelación rápida "IQF" (Individually Quick Freezing) para la conservación de la mora de Castilla. Cenicafé 56(4):365-380. 2005.**

Se estudió el proceso de congelación de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), con el propósito de evitar pérdidas postcosecha. Para elegir la velocidad de congelación sin alterar las características físico-químicas y sensoriales del producto, se aplicó la tecnología de congelación rápida "IQF". Las unidades experimentales estuvieron conformadas por 250g de mora, seleccionadas según la NTC4106, en el grado de madurez 5. La temperatura final de congelación con inmersión en metanol se evaluó mediante un diseño completamente aleatorio, donde los tratamientos fueron las velocidades de congelación (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,6°C/min), con cinco unidades experimentales cada una. Se observó que a altas velocidades el punto final de congelación se obtiene con valores de temperatura más bajas y viceversa. A escala industrial se utilizó el congelador Batch Freezer, mediante aspersión de las frutas con nitrógeno líquido. Se empleó un diseño completamente aleatorio, con arreglo factorial 2x3, para evaluar las interacciones de la temperatura de trabajo del equipo (-35 y -55°C) y la temperatura final de congelación del producto (-10, -15 y -20°C). Por razones de calidad y costo, se eligió el tratamiento de -10°C como temperatura final de congelación de la mora y -35°C como temperatura de operación del equipo, que corresponde a una velocidad de congelación de 4,37°C/min.

**Palabras claves:** Mora de Castilla, *Rubus glaucus*, temperatura final, velocidad de congelación, metanol, nitrógeno líquido.

## ABSTRACT

The freezing process of the Castilla blackberry (*Rubus glaucus* Benth) was studied in order to avoid postharvest losses. With the purpose of choosing the freezing speed without altering the physical and chemical properties of the product, the Individually Quick Freezing technology was implemented "IQF". The experimental units were made up of 250g of blackberry selected according to NTC4106, in the degree of maturity 5. The final freezing temperature with methanol immersion was evaluated through a totally randomized design in which the treatments were the freezing speeds (0.1; 0.2; 0.3; 0.4 and 0.6°C/min) each one with five experimental units. It was observed that at high speeds the final freezing point is obtained through lower temperature values and vice versa. At industrial scale the "Batch Freezer" was used by means of fruit aspersión with liquid nitrogen. A totally randomized design with factorial arrangement 2x3 was used in order to evaluate the interactions of the equipment work temperature (-35 and -55°C) and the final freezing temperature of the product (-10, -15 and -20°C). For reasons of quality and cost, one chose the treatment of -10°C like final temperature of freezing of the blackberry and -35°C like temperature of operation of the equipment, that corresponds at a speed of freezing of 4,37°C/min.

**Keywords:** blackberry, *Rubus glaucus*, final temperature, freezing speed, methanol, liquid nitrogen.

\* Bacterióloga Esp. Ciencia y Tecnología de Alimentos - Universidad Nacional Medellín, Antioquia, Colombia.

\*\* Investigador Científico II. Programa de Industrialización. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, hasta marzo de 2001. Chinchiná, Caldas, Colombia. Actualmente Profesor Asociado, Facultad de Medicina, Universidad de Manizales, Manizales, Caldas, Colombia.

\*\*\* Ingeniero Químico. Esp. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Individually Quick Freezing (IQF) se traduce como sistema de congelación rápida individual, y fue desarrollado con el objetivo de garantizar al consumidor alimentos con características muy cercanas a las originales después de su descongelación, lo que no es posible conseguir a través del sistema de congelación lenta tradicional, debido a las transformaciones que sufren los productos en este proceso.

Se ha demostrado que la congelación rápida conserva la calidad inicial de los alimentos, debido a que se obtienen estructuras microcristalinas en el tejido celular de los alimentos sensibles, lo cual garantiza una descongelación sin cambios en el volumen y con pérdidas de agua reducidas; así mismo, se conservan intactos los nutrientes, los minerales y las vitaminas durante y después de los procesos de congelación y descongelación del producto (8).

En cuanto a la congelación de frutas, la fresa es el producto que actualmente con mayor frecuencia se somete al proceso "IQF", obteniéndose un producto de buena calidad para la exportación como fruta fresca para el consumo directo (5).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Planta Piloto de Física del Programa de Industrialización, localizado en la sede central de Cenicafé, en Chinchiná (Caldas).

**Materia prima.** Mora de Castilla procedente de los municipios de Guática y Quinchía en Risaralda, y Riosucio en Caldas. La unidad experimental estuvo conformada por 250 gramos de mora.

**Fluidos refrigerantes.** Metanol y nitrógeno líquido.

**Tipo de empaque.** Cajas plásticas termoformadas de 250g.

**Recolección, selección, clasificación y adecuación de la materia prima.** Al momento de la recolección se realizó la preselección y la preclasificación de las moras, con el propósito de obtener una fruta de buena calidad y lo más representativa posible para la experimentación (2). Posteriormente, basados en la norma ICONTEC 4106 (6), éstas se clasificaron teniendo en cuenta tres criterios: el estado de madurez (Color 5), mediante la comparación visual del color del fruto en la tabla específica para la mora; por categoría, correspondiente a la Extra Tipo 1; y por tamaño, obtenido por medio de la relación entre el peso y el diámetro entre 19 y 22mm (calibre C). La adecuación de la materia prima se realizó desprendiendo el cáliz de las moras.

De acuerdo con los criterios de clasificación por tamaño se evaluaron aspectos físicos como: peso individual de la fruta sin el cáliz y diámetro.

El grado de madurez de la fruta (Color 5), correspondiente al grado de madurez de consumo se corroboró la relación entre el mínimo valor del contenido de los sólidos solubles totales y el máximo valor de la acidez titulable, expresado como °Brix /% de ácido málico (6). El experimento se desarrolló en dos etapas. En la primera, se determinó la temperatura final de congelación de la fruta y en la segunda se evaluó un proceso comercial de congelación.

**Determinación de la temperatura final de congelación de la mora.** En esta etapa se evaluaron cinco velocidades de congelación: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,6°C/min. Se utilizó un sistema de recolección de datos (Data logger con  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  de precisión), que permitió registrar los valores de temperatura en grados

centígrados cada 30 segundos. Este proceso se realizó en un sistema criostato (ULT-80 NESLAB) en el cual se depositaron tres muestras de 250g de mora con una temperatura inicial de 10°C, empleando diversas velocidades de congelación, proporcionadas por el mismo criostato, se inició el proceso hasta obtener una temperatura de equilibrio de -40°C. Previo a esto, tres de las cuatro termocuplas que salen del sistema, se adaptaron a tres muestras de mora en su centro geométrico y la termocupla restante al medio refrigerante (criostato).

### **Perfiles de temperatura de la mora de Castilla por velocidad de congelación.**

Una vez finalizada la congelación, con la información registrada de temperatura por cada velocidad se construyeron las gráficas de temperatura vs tiempo, para determinar el punto a partir del cual la temperatura de enfriamiento del producto se equilibra con la del criostato, es decir, hasta que el proceso de congelamiento mostrara gráficamente una tasa de congelación constante, y paralelo a esto, establecer dicha temperatura con las tablas de datos, para escoger el valor de temperatura a partir del cual son constantes la velocidad de enfriamiento del producto con respecto a la velocidad de enfriamiento del criostato.

**Diseño experimental.** El efecto de los cinco tratamientos propuestos se evaluó a través de un diseño experimental completamente aleatorio, donde los tratamientos fueron las velocidades de congelación y por cada una se tuvieron cinco unidades experimentales de  $250 \pm 5$  gramos de mora. Así mismo, se realizó un análisis de varianza de una sola vía y la prueba de Tukey al 5%, para evaluar el efecto de la velocidad de congelación sobre la temperatura final del producto.

### **Evaluación de un proceso comercial de congelación (aspersión con nitrógeno lí-**

**quido).** Este proceso se realizó con el fin de seleccionar una velocidad de congelación que no alterara la calidad del producto, y de no haber diferencia escoger la velocidad más lenta, por ser la menos costosa desde el punto de vista económico. La unidad experimental estuvo constituida por 500 gramos de mora y como medio refrigerante se utilizó nitrógeno líquido.

Después de determinar la temperatura final de congelación de la fruta se seleccionaron tres temperaturas promedio: -10, -15 y -20°C, para evaluar un proceso de congelación comercial por aspersión con nitrógeno líquido en un equipo de congelación "Batch Freezer" (Figura 1) con dos temperaturas de trabajo del equipo: -35 y -55°C, con lo cual se constituyeron en total seis tratamientos (Tabla 1).

En cada tratamiento las condiciones de presión estuvieron entre 50 y 60PSI (libras de presión) y la temperatura inicial del producto en 10°C. Antes de manejar el equipo, éste debía dejarse enfriar y finalmente programar la temperatura interna de la cámara para congelar el producto, fijando previamente una termocupla en el centro del fruto, hasta alcanzar la temperatura final de congelación seleccionada por tratamiento (-10, -15 ó -20°C).

### **Comparación entre tratamientos y testigos.**

Adicionalmente se incluyeron dos testigos: mora fresca, sin procesar, como testigo 1 y mora fresca congelada tradicionalmente, como testigo 2. Se definieron los testigos con el fin de realizar comparaciones con los tratamientos y observar la calidad final de la fruta.

**Almacenamiento y descongelación.** El producto congelado y el testigo 2 se almacenaron durante diez días a una temperatura promedio de -28°C. Luego las muestras se

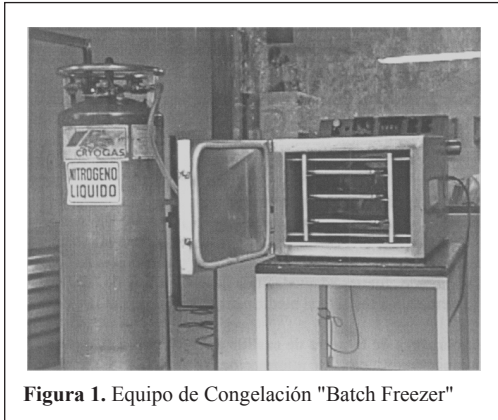


Figura 1. Equipo de Congelación "Batch Freezer"

descongelaron a temperatura ambiente durante 24 horas, y se evaluaron las siguientes características:

- Físicas: Peso individual de la fruta sin el pedúnculo o pitón y diámetro de la fruta.
- Químicas: pH, sólidos solubles totales (°Brix) y porcentaje de acidez (expresada en % de ácido málico)

- Sensoriales: Color, sabor, aroma y textura las cuales se calificaron en una escala de 1 a 9, así: 1 - 3: rechazo; 4 - 6: tolerable y 7 - 9: bueno o aceptable.

- Calidad comercial: pérdidas por deshidratación mediante el peso residual después de la congelación y almacenamiento, pérdidas de exudado o del líquido al descongelarse la fruta y porcentaje de humedad antes y después del proceso.

**Diseño experimental.** Los seis tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial de 2X3, con dos temperaturas del equipo: -35 y 55°C y tres temperaturas finales del producto: -10, -15 y 20°C.

Como análisis de estadística descriptiva se calcularon promedios, y como análisis de estadística inferencial análisis de varianza de una vía, complementado con la prueba Tukey con un nivel de significancia del 5%, para las variables físicas, químicas y de calidad comercial. Además, se compararon los tratamientos con los testigos, según prueba t al 5%.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos propuestos para la evaluación del proceso de congelación comercial con nitrógeno líquido.

Materia prima	Refrigerante	Temperatura final (°C)	Temperatura del equipo	Tratamiento
Mora en fresco	Nitrógeno líquido	-10	-35	1
		-10	-55	2
		-15	-35	3
		-15	-55	4
		-20	-35	5
		-20	-55	6

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Recolección, selección, clasificación y adecuación de la materia prima.** En el análisis estadístico de las variables físicas de los tres municipios (Tabla 2), se encontró que las variables físicas evaluadas en la mora producida en Riosucio, Quinchía y Guática se encontró el rango de calibres entre 18,42 y 23,29mm y un peso promedio sin pedúnculo entre 6,26 y 10,09g.

La Tabla 3 muestra que los coeficientes de variación del peso y el diámetro de la

fruta, están de acuerdo con los parámetros definidos para la mora en la Norma ICONTEC 4106.

**Confirmación del estado de madurez de la fruta.** En la Tabla 4 se observan los resultados de las variables químicas evaluadas para la determinación del grado de madurez de la fruta. Los valores obtenidos se aproximan a los parámetros especificados en la norma ICONTEC 4106 correspondiente a la mora de Castilla con grado de madurez 5.

**Tabla 2.** Características físicas de la mora de Castilla, producida en los municipios de Riosucio (Caldas), Quinchía y Guática (Risaralda).

Procedencia	Peso de la mora sin pedúnculo (g)					Diámetro (mm)				
	$\bar{X}$	DE	Min.	Max.	C.V.	$\bar{X}$	DE	Min.	Max.	C.V.
Guática	8,15	0,80	6,96	10,09	9,82	21,27	0,94	19,00	23,29	4,44
Quinchía	8,12	0,84	6,26	9,98	10,36	21,13	0,92	19,22	23,00	4,34
Riosucio	8,44	0,83	6,52	9,83	9,85	21,51	0,96	18,42	23,00	4,45

x: Promedio de tres repeticiones; DE: Desviación Estándar; C.V: Coeficiente de variación.

**Tabla 3.** Características físicas de la mora de Castilla, según la Norma Técnica Colombiana 4106.

	Peso de la mora sin pedúnculo (g)	Diámetro (mm)
Número de observaciones	290	290
Media	8,24	21,30
Varianza	0,70	0,90
Desviación estándar	0,83	0,95
Mínimo	6,26	18,42
Máximo	10,09	23,29
C.V	10,13	4,46

**Determinación de la temperatura final para congelar la mora.** En la Tabla 5, se muestran los valores obtenidos de temperatura final de congelación de la fruta para cada velocidad evaluada.

Los resultados obtenidos indican que el punto final de congelación de la fruta se obtiene con una temperatura más baja y viceversa; es decir, que con velocidades lentas la temperatura empleada debe ser más alta. En el análisis de varianza, la velocidad de congelación mostró respuesta significativa al efecto de tratamientos (temperaturas finales) y según Tukey al 5% mostró que el tratamiento 1 es el más alto y difiere estadísticamente de los demás. Las temperaturas para congelar la

mora se ubican en un punto a partir del cual éstas descienden a una tasa constante con el medio refrigerante, hasta finalizar el proceso.

**Perfiles de la temperatura de la mora de Castilla por velocidad de congelación.** Experimentalmente se determinó que la temperatura final de congelación de la mora de Castilla a velocidades de: 0,1 °C/min es de -10,4°C (Figura 2), a 0,2°C/min es de -12,3°C (Figura 3); a 0,3°C/min es de -15,6°C (Figura 4); a 0,4°C/min es de -16,2°C (Figura 5) y a 0,6°C/min es de -19,8°C (Figura 6). Estas temperaturas se identificaron en un punto a partir del cual la temperatura desciende a tasa constante, con el medio refrigerante, hasta el final del proceso.

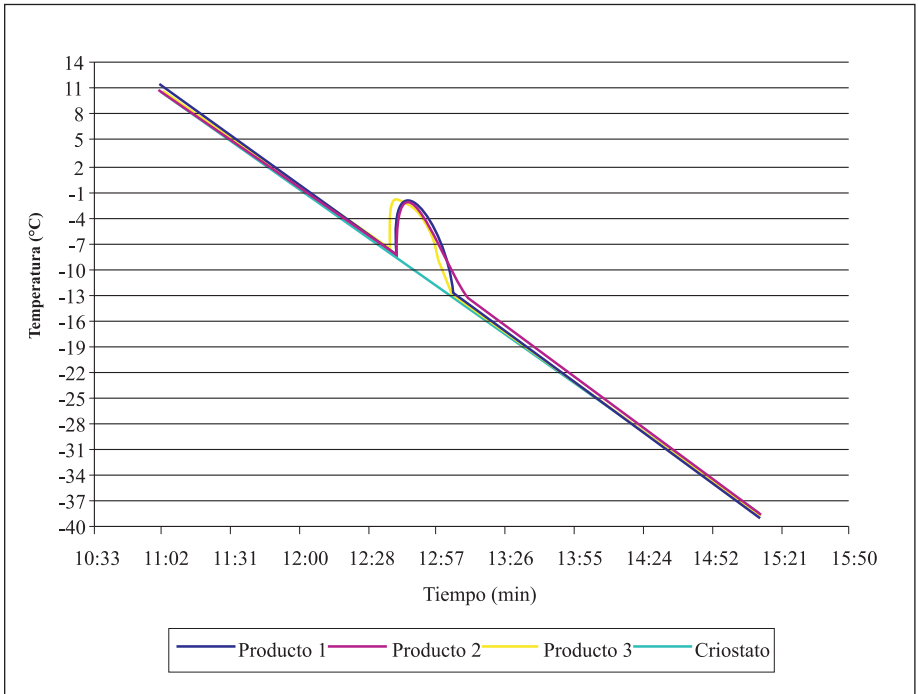
**Tabla 4.** Características químicas evaluadas en mora de Castilla, producida en los municipios de Riosucio (Caldas), Quinchía y Guática (Risaralda)

	Valor promedio			NTC 4106 (rango)
	Riosucio	Quinchía	Guática	
pH	2,73	2,66	2,64	2,5 - 2,8
Sólidos solubles (°Brix)	7,55	7,67	7,77	7,2 - 7,9
Acidez titulable (%)*	2,89	2,97	3,24	2,8 máx.
Índice de madurez	2,63	2,59	2,41	2,6 mín.

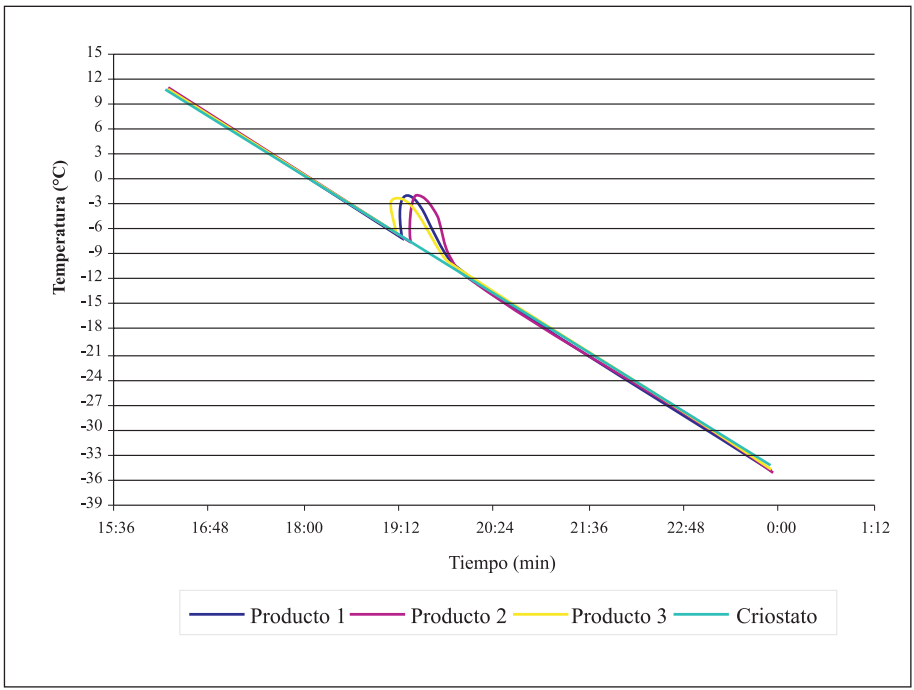
**Tabla 5.** Promedios de la temperatura final para congelar la mora de Castilla

Tratamiento	Velocidad de congelación (°C/min)	Temperatura final de la mora (°C)	
		$\bar{x}$	CV
1	0,1	-10,4 A*	2,49
2	0,2	-12,3 B	3,69
3	0,3	-15,6 C	6,23
4	0,4	-16,2 C	3,18
5	0,6	-19,8 D	2,34

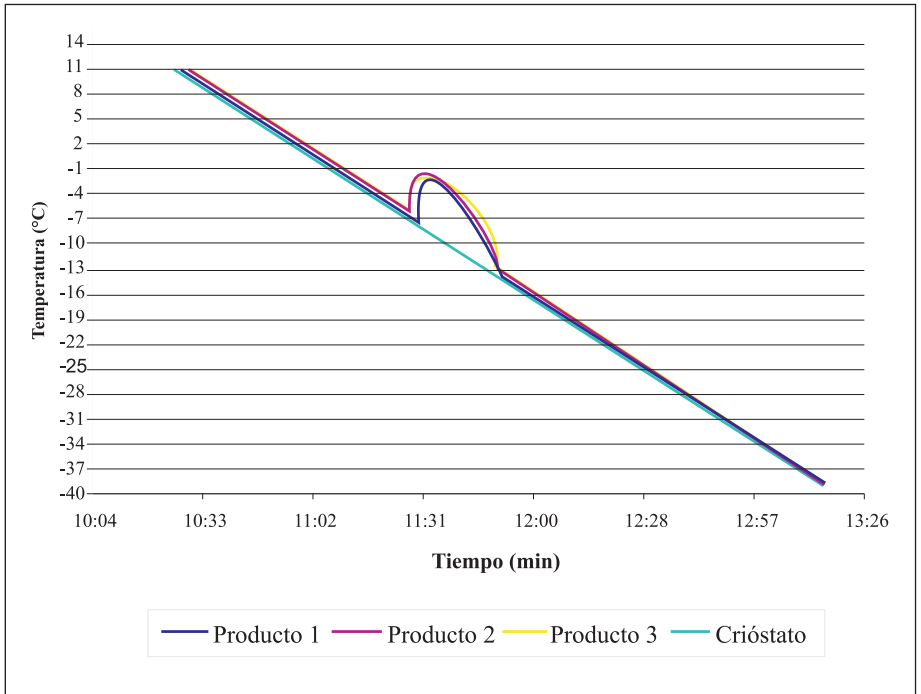
\* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de Tukey al 5%.



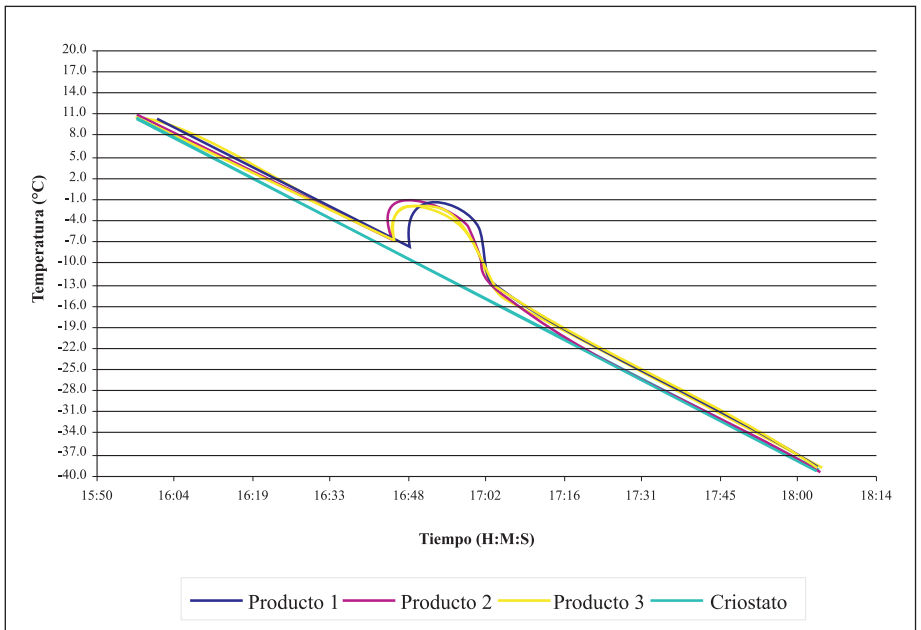
**Figura 2.** Congelación de tres muestras de mora a una velocidad de congelación de 0,1°C/min



**Figura 3.** Congelación de tres muestras de mora a una velocidad de congelación de 0,2°C/min



**Figura 4.**  
Congelación de tres muestras de mora a una velocidad de congelación de 0,3°C/min



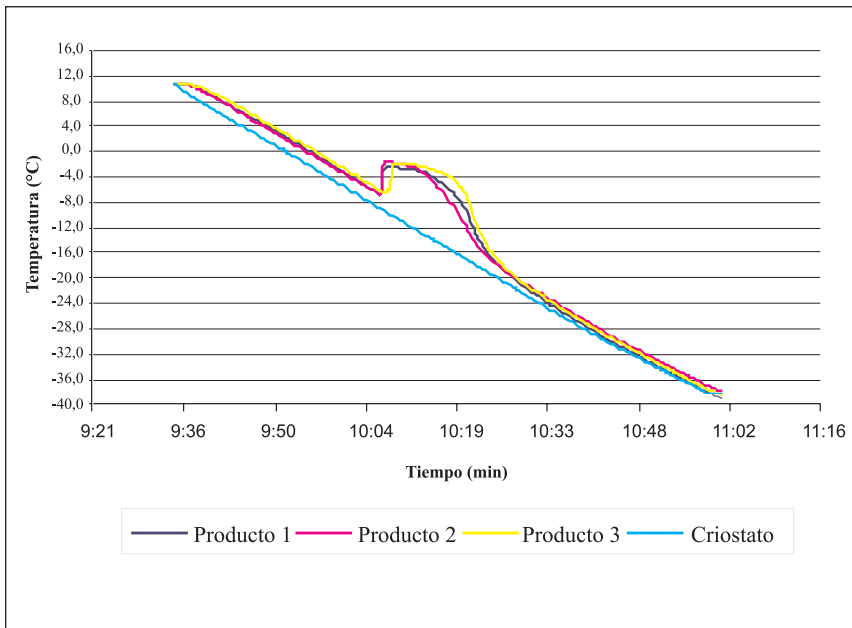
**Figura 5.**  
Congelación de tres muestras de mora a una velocidad de congelación de 0,4°C/min



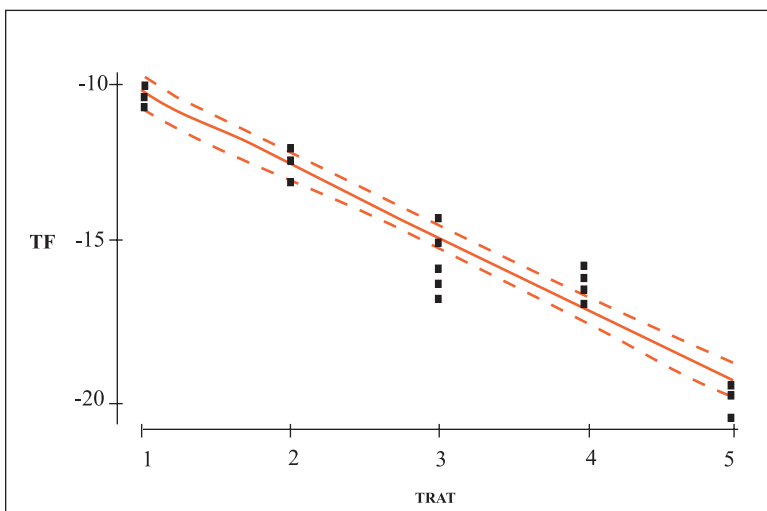
La relación entre la temperatura final y la velocidad de congelación es del tipo lineal negativa, con un coeficiente de variación del 94%, que permite establecer la ecuación: **TF=-8,061-2,267\*Velocidad**, e indica que a medida que desciende la velocidad de

congelación la temperatura final del producto aumenta -8,1°C (Figura 7).

La temperatura final de congelación de la fruta en estudio depende de la velocidad de congelación al igual que otras variables



**Figura 6.** Congelación de tres muestras de mora a una velocidad de 0,6°C/min.



**Figura 7.** Comportamiento de la temperatura final de congelación de la mora vs la velocidad de congelación.

importantes en la congelación como la temperatura vítrea y el punto inicial de congelación (10).

**Evaluación de un proceso comercial de congelación (aspersión con nitrógeno líquido).** En la Tabla 6 se presentan los valores calculados para la variable velocidad de congelación a partir de la temperatura inicial del producto ( $10 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura del equipo ( $-35$  y  $-55^{\circ}\text{C}$ ).

La calidad de los alimentos depende de la velocidad de congelación, por tanto, si para el proceso se emplean bajas velocidades (proceso lento) se formarán grandes cristales de hielo en la parte exterior del tejido que rompen la pared celular y aceleran el proceso de deterioro del producto. Por el contrario, si el proceso de congelación es rápido se forman pequeños cristales de hielo que no producen tensiones sobre la pared celular y no ocasionan esos daños en el tejido; de esta manera el alimento puede conservar la mayoría de sus características originales (8).

Las pérdidas por deshidratación (PPD) del producto durante la congelación de la mora con el nitrógeno líquido no fueron significativas (inferiores al 0,8%), mientras que en la fruta congelada tradicionalmente las pérdidas alcanzaron el 1,76% (Tabla 6).

Después de los procesos de congelación, almacenamiento y descongelación, el análisis de varianza mostró que las variables sólidos solubles, pérdidas de exudado (PEXU) y humedad, presentan diferencias estadísticamente significativas en el factor temperatura final de congelación. Los valores de sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) con relación a la temperatura final de congelación, se muestra en la Tabla 7.

Los sólidos solubles totales para ambas temperaturas de trabajo del equipo ( $-35$  y  $-55^{\circ}\text{C}$ ) presentaron una tendencia lineal negativa con respecto a la temperatura final de congelación, es decir, a menor temperatura menor porcentaje de sólidos solubles.

En la materia, el movimiento de las moléculas es una propiedad importante y la

**Tabla 6.** Promedios de las variables evaluadas en la mora durante la congelación con nitrógeno líquido y después del almacenamiento.

Tratamiento	Temperatura final (TF) ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura del equipo (TE) ( $^{\circ}\text{C}$ )	Velocidad de Congelación ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )	PPDT* (g)	PPDT* (%)
1	-10	-35	4,4	1,68	0,34
2	-10	-55	5,2	3,74	0,75
3	-15	-35	2,8	2,83	0,58
4	-15	-55	11,1	2,67	0,53
5	-20	-35	5,8	2,76	0,55
6	-20	-55	7,5	2,59	0,52
T2	-	-	Lenta	8,82	1,76

T2- Testigo (mora congelada tradicionalmente). PPDT= Pérdidas por deshidratación total

intensidad de éste está determinada por la temperatura y el grado de compactación del cuerpo, lo cual influye sobre la frecuencia de los choques y los procesos físicos y químicos, modificando las propiedades iniciales del cuerpo; tal es el caso de las frutas congeladas con el descenso en el contenido de ácido ascórbico (7).

Los valores promedio de pérdidas de exudado son estadísticamente iguales cuando se emplean temperaturas finales de congelación de -20 y -10°C, por tanto, se eligió esta última por representar menos costos en el proceso (Tabla 8).

Estos resultados confirman que a menores temperaturas de congelación (velocidad de congelación rápida), más fina es la estructura

cristalina y mayor es la protección de los tejidos vegetales. La descongelación es un proceso irreversible y después de ésta la unión del agua es mucho más débil que en estado fresco (7).

Cuanto mayor sea la pérdida de exudado durante la descongelación mayor es la reducción del valor nutricional de los alimentos. La cantidad de exudado depende de la naturaleza del producto, de la rapidez de la congelación y descongelación y del estado fisiológico o grado de madurez de la fruta (7).

Para la variable humedad se seleccionó el mayor promedio (89,12%) correspondiente a una temperatura de -20°C, debido a que comercialmente el agua es el principal

**Tabla 7.** Sólidos solubles contenidos en la mora de Castilla con relación a la temperatura final de congelación.

Temperatura final de congelación (°C)	Sólidos solubles totales (°Brix)	
	Promedio	C.V.
-10	6,5 A*	3,6
-15	6,2 B	2,6
-20	6,1 B	1,4

\* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de Tukey al 5%.

**Tabla 8.** Pérdidas de exudado (PEXU) y humedad con relación a la temperatura final de congelación

Temperatura final de congelación (°C)	PEXU (ml)	Humedad (%)
	Promedio	Promedio
-10	55,2 AB*	87,57 B
-15	58,0 A	87,85 B
-20	48,3 B	89,12 A

\* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de Tukey al 5%.

componente de la mayoría de los alimentos congelados. A menor temperatura, menor es la pérdida de humedad de la fruta, por lo que en la congelación rápida la temperatura de la superficie del producto desciende rápidamente a un valor en el que la evaporación o la sublimación del agua es débil (9).

Para los productos congelados sin envasar, como en el caso de la mora expuesta directamente al nitrógeno líquido, la pérdida de humedad puede variar entre el 1 y el 2%. Esta pérdida de humedad es débil en la congelación por contacto (7).

Las variables significativas para la interacción de los factores temperatura final de congelamiento y temperatura del equipo fueron: las pérdidas por deshidratación (PPD) y la velocidad de congelación. La evaluación de la primera variable se observa en la Tabla 9, donde se seleccionó el tratamiento 1 (-10\*-35) por presentar menos pérdidas de humedad.

Estas pérdidas pueden atribuirse a la dimensión del fruto, debido a que ofrecen una gran superficie de contacto en relación

con su masa, lo que permite más pérdidas de agua, aunque su congelación sea más rápida (3).

En cuanto a la velocidad de congelación, en la Tabla 10 se muestra que esta variable es diferente según la temperatura con la cual maneja el equipo (-35 ó -55°C), lo que indica que depende de la temperatura final del producto (TF) y la temperatura del equipo (TE).

La interacción elegida corresponde al tratamiento 1, con la cual se alcanza una velocidad de congelación promedio de 4,37°C/min (Figura 8). En términos de calidad, una vez congelada la fruta a esta velocidad, se conservan adecuadamente sus características físicas, químicas y de calidad, y no se observan diferencias significativas entre estas. Según el análisis de varianza las variables sensoriales estadísticamente tampoco fueron significativas para las interacciones evaluadas.

**Comparación entre tratamientos y testigos.** Las características químicas de pH, porcentaje de acidez y sólidos solubles to-

**Tabla 9.** Pérdidas por deshidratación de la mora con relación a la interacción entre la temperatura final de congelación y la temperatura del equipo

Tratamiento	Interacción TF*TE	PPD (g) Promedio
1	-10*-35	1,683 B*
2	-10*-55	3,740 A
3	-15*-35	2,830 AB
4	-15*-55	2,670 AB
5	-20*-35	2,763 AB
6	-20*-55	2,590 AB

\* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de Tukey al 5%.

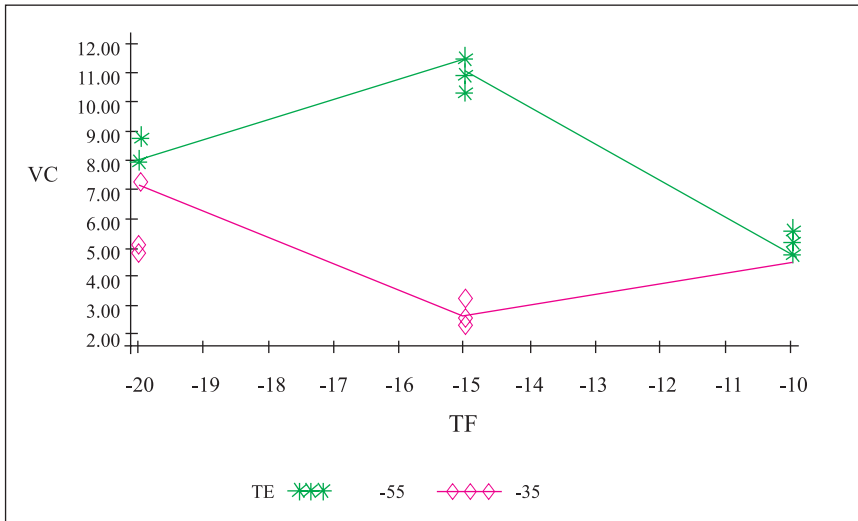
tales, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos y con los testigos 1 y 2 (Figura 9).

Las pérdidas por deshidratación no son diferentes estadísticamente entre los tratamientos evaluados, pero con respecto al testigo tradicional (T2) si existen diferencias, presentando este último mayores pérdidas (Figura 10).

Cuando se realiza una congelación lenta el tejido trata de reestablecer su equilibrio bioquímico liberando por ósmosis el líquido

del interior de la célula, produciéndose una deshidratación que no es reversible al descongelar el producto, debido a la semipermeabilidad de las paredes celulares; mientras que en un proceso rápido, la congelación del agua produce una concentración de las sales disueltas en el líquido intercelular (1).

La congelación tradicional hace referencia a un proceso de congelación lenta, en el cual se emplean congeladores que trabajan normalmente con temperaturas no menores a  $-18^{\circ}\text{C}$ . Básicamente, el daño físico que ocurre en una congelación lenta es debido



**Figura 8.** Comportamiento de la velocidad de congelación con relación a la interacción entre la temperatura del equipo y la temperatura final de congelación de la mora.

**Tabla 10.** Velocidad de congelación de la mora con relación a la interacción entre la temperatura final de congelación y la temperatura del equipo

Tratamiento	Interacción TF*TE	Velocidad de congelación ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) Promedio
4	-15*-55	11,13A*
6	-20*-55	7,5B
5	-20*-35	5,8BC
2	-10*-55	5,17BCD
1	-10*-35	4,37CD
3	-15*-35	2,80D

\* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de Tukey al 5%.

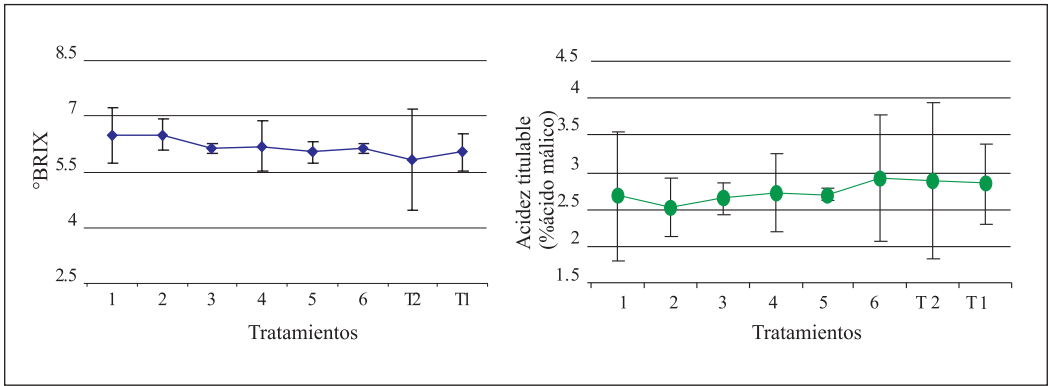


Figura 9. Intervalos de confianza de los tratamientos y los testigos para las características químicas de la mora congelada

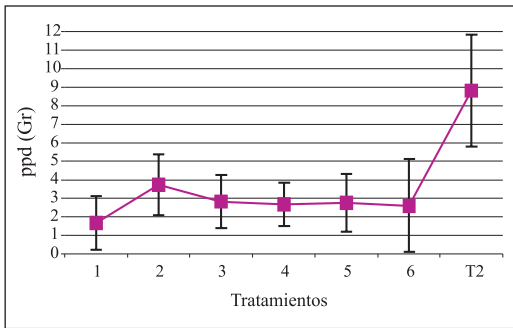


Figura 10. Intervalos de confianza de los tratamientos y el testigo tradicional (T2) para la variable pérdidas por deshidratación de la mora congelada.

a la formación de grandes cristales de hielo alrededor de los núcleos que se producen al comenzar la congelación, por tanto, los cristales tienen tiempo de crecer y romper los tejidos (4).

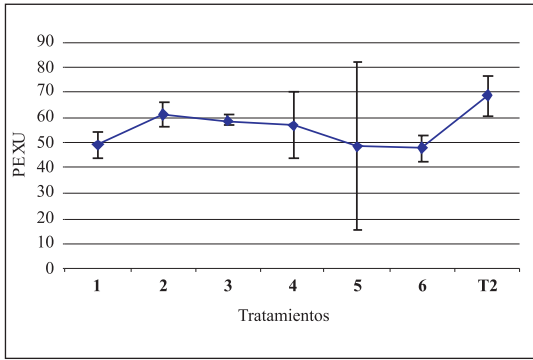
Si la congelación es rápida, como se le realizó a los tratamientos con nitrógeno líquido, se producen muchos y muy pequeños cristales de hielo. Aquí el congelamiento se produce primero fuera de las células (1) (Figura 11).

En la variable porcentaje de humedad no se observan diferencias entre los tratamientos, ni entre éstos y los testigos (Figura 12).

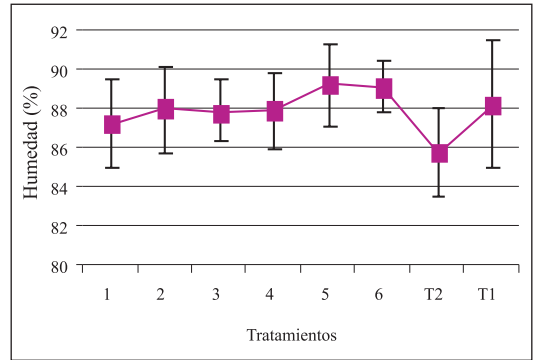
En el análisis sensorial, la impresión global para todos los tratamientos tuvo un valor promedio entre 5 y 6, que corresponde a una calificación de tolerable; mientras que las características más afectadas fueron la textura y el color. El color se perdió excesivamente, quedando el producto rojo pálido, lo cual se logró corroborar con la disminución de los valores en la escala del color "a" (grado de cromaticidad). La textura o resistencia tisular de la mora descendió a medida que se incrementaba el tiempo de descongelación, pero este cambio fue menor cuando se comparó con una fruta congelada de manera tradicional.

Finalmente, los resultados de este estudio indican que para el manejo de la mora de Castilla en procesos de congelación deben considerarse las condiciones de operación del equipo descritas en la Tabla 11, según las características que se desee en el producto. De acuerdo con estos resultados, el equipo puede operarse a temperaturas mayores que las recomendadas por el proveedor (-50°C), y a más bajo costo.

En conclusión, a una temperatura final de congelación de la mora de Castilla de -10°C, se puede obtener un producto "IQF" de calidad comercial (Figura 13).



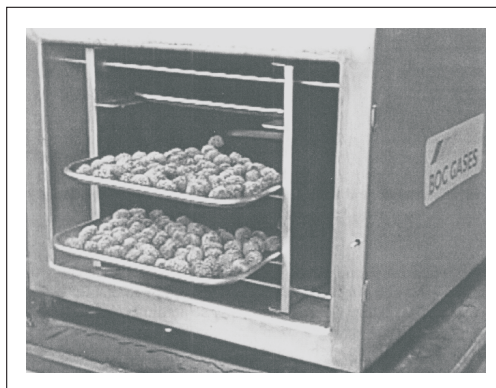
**Figura 11.** Intervalos de confianza de los tratamientos y el testigo tradicional (T2), para la variable pérdidas de exudado (PEXU) de la mora descongelada.



**Figura 12.** Intervalos de confianza de tratamientos y testigos para la variable porcentaje de humedad de la mora congelada.

**Tabla 11.** Resultados de las mejores condiciones de operación del congelador de baches para cada variable química y de calidad evaluada en la mora de Castilla.

VARIABLE	TF (°c)	TE (°c)
pH	10	35
Sólidos solubles (°Brix)	-10	-35
Acidez titulable (%)	-10	-35
Pérdidas de exudado (PDE)	-10	-35
Pérdidas por deshidratación (PPD)	-10	-35
Humedad (%)	-20	-55



**Figura 13.** Muestras de mora congeladas mediante el método "IQF".

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al grupo de Normalización de Frutas y Hortalizas del Programa ETIA de Cenicafé. Al Dr. Germán Franco de CORPOICA, al Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales C.D.T.F, en representación del Dr. Carlos Alberto Noreña Echeverri y a Gases Industriales de Colombia S.A., por su valiosa colaboración en el desarrollo del estudio.

## LITERATURA CITADA

- 1 ALJURE C., L.H. Conferencia microbiología de los alimentos congelados. In: SEMINARIO Internacional Congelación de Alimentos Sistema I.Q.F. Bogotá, Julio 16-18, 1992. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA, 1992. p. 1-16.
- 2 ARISTIZÁBAL V., G.E.; GÓMEZ P., C.R.; PEÑUELA M., A.E.; CHAPARROC., M.C.; ROJASA., J.M.; LÓPEZ R., J.A.; DIAZ R., L.B.; RIVERA, M.A. Calidad en frutas y hortalizas; Ciclo I. Armenia, SENA - Cenicafé, 1999. 55 p.
- 3 DESROSIER, N.W. Elementos de tecnología de alimentos. México, Compañía Editorial Continental, 1983. 482 p.
- 4 FONDO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES - PROEXPO. BOGOTÁ. COLOMBIA. Frutales y hortalizas congeladas (IQF). Un nuevo reto para Colombia; Base y condiciones para llegar al mercado de la República Federal de Alemania. Bogotá, PROEXPO-PROCOTEC, s.f. 60 p.
- 5 HODSON DE J., E.; RAMENDIS R., R.H.; ZURITZ, C.A. Procesamiento y conservación de alimentos en América Latina y el Caribe. Vol. 1. Bogotá, Colciencias, 1996. p. 213-217.
- 6 INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS-ICONTEC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Frutas Frescas. Mora de Castilla. Especificaciones. Bogotá, ICONTEC-CENICAFÉ, 1997. 13 p. (NTC No. 4106)
- 7 INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID. PARÍS FRANCIA. Alimentos congelados; procesado y distribución. Zaragoza, Acibia, 1990. 184 p.
- 8 PRADO, M. Conservación de Alimentos Sistema "IQF". In: SEMINARIO Internacional Congelación de Alimentos I.Q.F. Bogotá, Julio 16-18. 1992. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ICTA, 1992. p. 1-20.
- 9 REID, D.S. Basic physical phenomena in the freezing and thawing of plant and animal tissues. In: FROZEN Food Technology. Londres, Blackie Academic and Professional, 1993. p. 1-20.
- 10 RHAMAN, S. Food properties handbook. Boca Ratón, CRC Press, 1995. p. 90, 103.