

**Transformación y agroindustria**

Artículo de investigación científica y tecnológica

# Efecto de la adición de carragenina, goma guar y metilcelulosa en los parámetros de calidad de un helado con licor

Effect of carrageenan, guar gum, and methylcellulose addition on the quality parameters of ice cream with liqueur

 Valentina Campo-Quintero <sup>1\*</sup>  Juan José Rojas-Gaitán <sup>1</sup>  
 Juan Sebastián Ramírez-Navas <sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia.

\*Autor de correspondencia: Departamento de Alimentación y Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Javeriana Cali, Calle 18 #118-250, Edificio Raúl Posada 2° piso. Oficina 2,24, Cali, Colombia.  
juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co, juan.ramirez@javerianacali.edu.co

Recibido: 04 de septiembre de 2020  
Aprobado: 29 de marzo de 2022  
Publicado: 08 de mayo de 2022

Editor temático: Juan Camilo Henao Rojas, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]

Para citar este artículo: Campo-Quintero, V., Rojas-Gaitán, J. J., & Ramírez-Nava, J. S. (2022). Efecto de la adición de carragenina, goma guar y metilcelulosa en los parámetros de calidad de un helado con licor. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2209. DOI [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num2\\_art:2209](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2209)

**Resumen:** El mercado de helados está en constante expansión y diversificación. Una muestra de ello es que se están diseñando diversas opciones de helados para el segmento de adultos, entre las cuales el helado con licor se abre camino como una opción interesante. Sin embargo, la adición de este ingrediente afecta negativamente algunos parámetros de calidad del helado. En esta investigación, buscando mantener los parámetros de calidad esperados por los consumidores, se evaluó el efecto de la adición de emulsionantes-estabilizantes en la calidad sensorial y fisicoquímica de un helado con licor utilizando un diseño de mezcla simplex-centroide, en el cual se prepararon siete formulaciones de helado por triplicado. De acuerdo con el diseño de mezclas, se combinaron metilcelulosa, goma guar y/o carragenina en lotes de helado de aproximadamente un litro. Se midieron los °Brix, la densidad, el color, el pH y el punto de congelación de la mezcla de helado madurada durante 24 horas. También se evaluaron la textura, el porcentaje de fusión, el tiempo de caída de la primera gota y el *overrun* del helado final. Finalmente, se realizó la evaluación sensorial utilizando pruebas de aceptación y preferencia con un panel de 141 consumidores. El efecto de los estabilizantes sobre las propiedades fisicoquímicas se analizó mediante gráficos de contorno y la formulación óptima se determinó con base en parámetros de calidad y análisis sensorial. Se concluye que la formulación óptima está compuesta por 12,32 % de metilcelulosa, 71,84 % de goma guar y 15,83 % de carragenina, para formar la red de gel que mantendrá al alcohol etílico dentro de la matriz, evitando separaciones no deseadas y manteniendo las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales dentro los parámetros establecidos y esperados por el consumidor.

**Palabras clave:** alcohol etílico, diseño de mezclas, emulsificantes-estabilizantes, productos lácteos, propiedades fisicoquímicas, propiedades organolépticas.

**Abstract:** The ice cream market is constantly expanding and diversifying. An essential segment for which various ice cream options are being designed is adults. For instance, ice cream with liquor is making its way as an exciting option. However, the addition of liquor negatively affects some quality parameters of the ice cream. In this investigation, seeking to maintain the quality parameters expected by consumers, the effect of emulsifier-stabilizers addition on sensory and physicochemical quality of ice cream with ethyl alcohol was evaluated using a simplex-centroid Mixture design. Seven formulations of ice cream were made in triplicate. According to Mixture design, methylcellulose, guar gum, and/or carrageenan were combined. Approximately one-liter ice cream batches were made. The °Brix, density, color, pH, and freezing point of the ice cream mix matured for 24 h were measured. Texture, the melting percentage, the Fall time of the first drop, and the overrun of the final ice cream were also evaluated. Finally, sensory evaluation was performed using acceptance and preference tests with a panel of 141 consumers. The effect of stabilizers on the physicochemical properties was evaluated through contour charts, and the optimal formulation was determined based on quality parameters and sensory analysis. The optimal formulation is composed of: 12.32 % methylcellulose, 71.84 % guar gum, and 15.83 % carrageenan, to form the gel network that maintains ethyl alcohol within the matrix, avoiding unwanted separations and maintaining the physicochemical properties, functions, and sensors, within the established and expected parameters by the consumer.

**Keywords:** dairy products, emulsifiers-stabilizers, ethyl alcohol, mix design, organoleptic properties, physicochemical properties.



## Introducción

La industria heladera se encuentra en un período de expansión, con un crecimiento anual proyectado del 8,3 % (Rubiano-Vargas et al., 2022). Esta situación ha motivado a la industria a diversificar su producción, principalmente innovando y ofreciendo valor agregado al producto (Industry Research, 2019). La incorporación de alcohol etílico como ingrediente en la formulación de helados es una innovación que permite desarrollar nuevos productos, en los cuales se utilizan aditivos combinados o agregados en determinadas cantidades para propiciar una mejor introducción de este nuevo ingrediente, lo cual garantiza que se mantienen y/o mejoran las características fisicoquímicas y sensoriales (Mora & Maestre, 2017).

El alcohol etílico, también conocido como etanol, es un líquido transparente e incoloro, con sabor y olor característico que, al ser adicionado a alimentos como helados, retrasa el proceso de congelación de la mezcla. Esto se debe a que el alcohol etílico tiene un punto crioscópico (PC) de  $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de manera que cuando se añade a una mezcla acuosa disminuye el PC del helado por debajo del PC del agua (Mora & Maestre, 2017).

La adición del licor en helados es un proceso complejo, debido a los cambios que ocasiona en su estructura, tales como la tendencia a un rápido derretimiento y un aspecto blando, además de un déficit en el porcentaje de *overrun* (PO). Para solucionar este problema, es necesario adicionar una mayor cantidad de ingredientes con poder anticongelante (León et al., 2014), así como otros, posiblemente hidrocoloides, para lograr la retención del alcohol etílico en la matriz (Miller-Livney & Hartel, 1997).

La investigación relacionada con los ingredientes para elaborar helados consiste en examinar los efectos que ciertos componentes tienen en las propiedades químicas o físicas del helado y/o en determinar la funcionalidad específica de dichos elementos, así como su efecto en la microestructura del alimento (Ramírez-Navas, 2017). Entre los varios ingredientes utilizados en la elaboración de los helados están los hidrocoloides. Estos tienen una amplia gama de propiedades funcionales tecnológicas, incluyendo, entre otras, las de espesantes, gelificantes, emulsionantes, estabilizantes, etc. La razón principal del amplio uso de los hidrocoloides en la industria alimentaria es su capacidad de modificar la reología de los sistemas alimentarios y de producir dispersiones con características intermedias entre una verdadera solución y una suspensión; por lo tanto, al tener las propiedades de un coloide, son utilizados como aditivos alimentarios para mejorar la calidad de los productos (Jaimes et al., 2017). En el caso de los helados, los hidrocoloides tienen como función principal modificar las propiedades reológicas en la fase acuosa, mejorar la viscosidad y la incorporación de aire, dar cuerpo y textura, así como retardar la formación y el crecimiento de los cristales de hielo en la matriz (Liendo & Martínez, 2006; Rodríguez, 2017).

Los hidrocoloides se pueden obtener a partir de exudados de árboles o de extractos de plantas o algas, harinas de semillas, entre otros productos naturales (Angioloni, 2013). Entre los hidrocoloides más utilizados en la elaboración de helados se encuentran la carragenina (CL), la goma guar (GG) y la metilcelulosa (MC) (Jaimes et al., 2017). La carragenina inhibe la tasa de recristalización, un parámetro que influye en la producción de helados de alta calidad y en la conservación de una textura óptima (Miller-Livney & Hartel, 1997). La goma guar tiene en su

estructura un mayor porcentaje de unidades de galactosa que la goma de algarrobo, lo que la hace más soluble en agua fría; de igual manera, se ha evidenciado que disminuye los efectos indeseables de choque térmico en los helados, se dispersa fácilmente y no causa una excesiva viscosidad en la mezcla (Jaimes et al., 2017). Por último, la metilcelulosa es una de las únicas gomas que gelifican con el calor y después, al enfriarse, retornan a su viscosidad original líquida, lo que la hace muy importante en la elaboración de helados (Dziezak, 1991).

En esta investigación se evaluó el efecto de emplear tres hidrocoloides (CL, GG y MC), aplicando diseño de mezclas, con el fin de obtener una mezcla óptima cuyas propiedades fisicoquímicas (densidad, pH, °Brix, acidez, color y punto de congelación (PC)), funcionales tecnológicas (tiempo de derretimiento (PD), tiempo de caída de primera gota (TCPG) y *overrun* (PO)) y sensoriales presentaran valores dentro de rangos adecuados de acuerdo con lo reportado por Ramírez-Navas et al. (2015) luego de adicionarle el licor.

## **Materiales y métodos**

Los ensayos para evaluar efecto de adicionar CL, GG y MC en los parámetros de calidad de un helado con alcohol etílico se realizaron en los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle, durante un período de aproximadamente ocho meses.

### **Materia prima y aditivos**

Para la fabricación de las muestras de helado se empleó: leche entera homogeneizada *UHT* y leche descremada en polvo (Colanta, Colombia), crema de leche homogeneizada y pasteurizada 33 % M. G. (Alquería S. A., Colombia), azúcar blanca (Ingenio Providencia S. A., Colombia), glucosa (Productos Jardín), triple sec (38 % Alc., Lucas Bols B. V., Países Bajos), metilcelulosa, goma guar y/o carragenina (Tecnas S. A., Colombia), colorante amarillo (Colorisa, Colombia) y sabor a amaretto (Química Aromática Andina S. A., Colombia), adicionados de acuerdo con el requerimiento de cada uno de los experimentos planteados. Los recipientes de almacenamiento que se utilizaron fueron de polietileno de alta densidad con capacidad para dos litros. Los insumos se adquirieron en los supermercados de la localidad y puntos de venta especializados.

### **Determinación de alcohol etílico en el helado**

Para determinar la cantidad de licor y, a su vez, el porcentaje de alcohol etílico en la mezcla de helado, se consultó el Decreto 1686 de 2012, en el cual se establece una graduación de 2,5 ° a 15 ° alcoholimétricos a 20 °C, para productos alimenticios orgánicos que se les adicione aditivos permitidos. Además, se tuvo en cuenta el contenido de alcohol etílico presente en cervezas y bebidas mixtas, que varía entre 4,5 % y 5,0 %. De esta manera se estableció un valor constante de 5,3 ° alcoholimétricos, lo que equivale a 139,2 g de licor triple sec (licor con 38 % de alcohol utilizado como base en cocteles), en una formulación de helado de 1.000 g.

## Diseño experimental

Se realizó un diseño de mezclas simplex-centroide para analizar el efecto de la adición de metilcelulosa (MC), goma guar (GG) y carragenina (CL) en las variables de respuesta fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de un helado con contenido de alcohol etílico constante. Se utilizó una formulación estándar base de un helado de crema (Clarke, 2012). Las unidades experimentales fueron lotes de helado de aproximadamente un litro, de los cuales se obtuvieron las muestras para el análisis de las diferentes variables de respuestas.

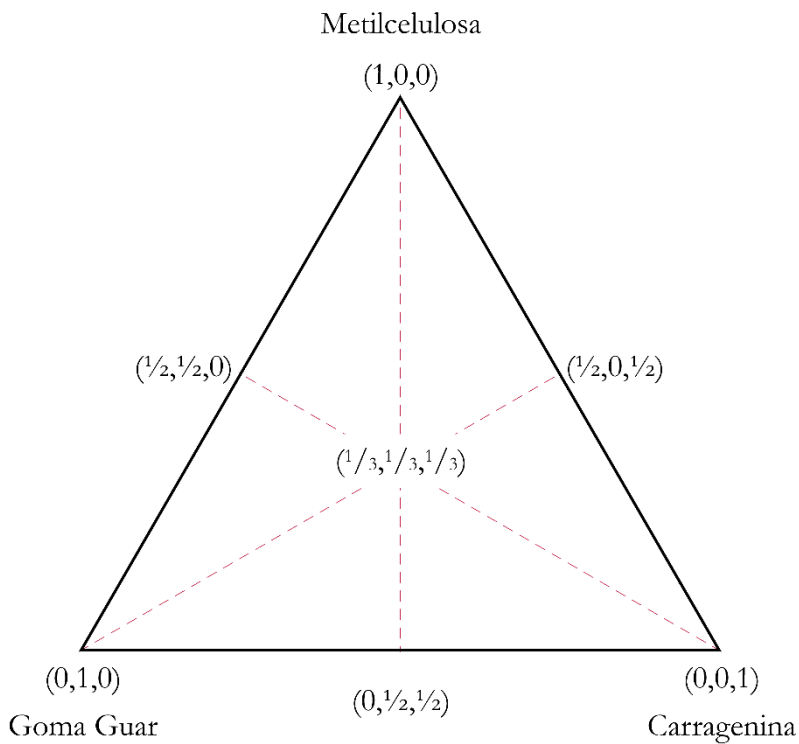
De acuerdo con el diseño experimental, se realizaron siete tratamientos con tres repeticiones, para 21 pruebas en total. El diseño de mezclas simplex-centroide se aplica cuando se tienen pocos componentes, y consiste en  $2^{q-1}$  puntos definidos de la siguiente forma: las  $q$  mezclas puras, los puntos medios de las aristas definidas por cada dos vértices, los centroides de las caras definidas por cada tres vértices y así hasta obtener el centroide global. En el caso de este proyecto, que corresponde a tres factores, como se presenta en la tabla 1 y la figura 1.

**Tabla 1.** Diseño de mezcla – Variables de respuesta

Factores	Niveles	Tipo de nivel MC, GG, CL	Réplicas	Variables de respuesta
Goma guar Metilcelulosa Carragenina	7	(1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2), (1/3, 1/3, 1/3)	3	pH, °Brix, Acidez, Densidad Color, Textura, PC, PD, TCPG, PO

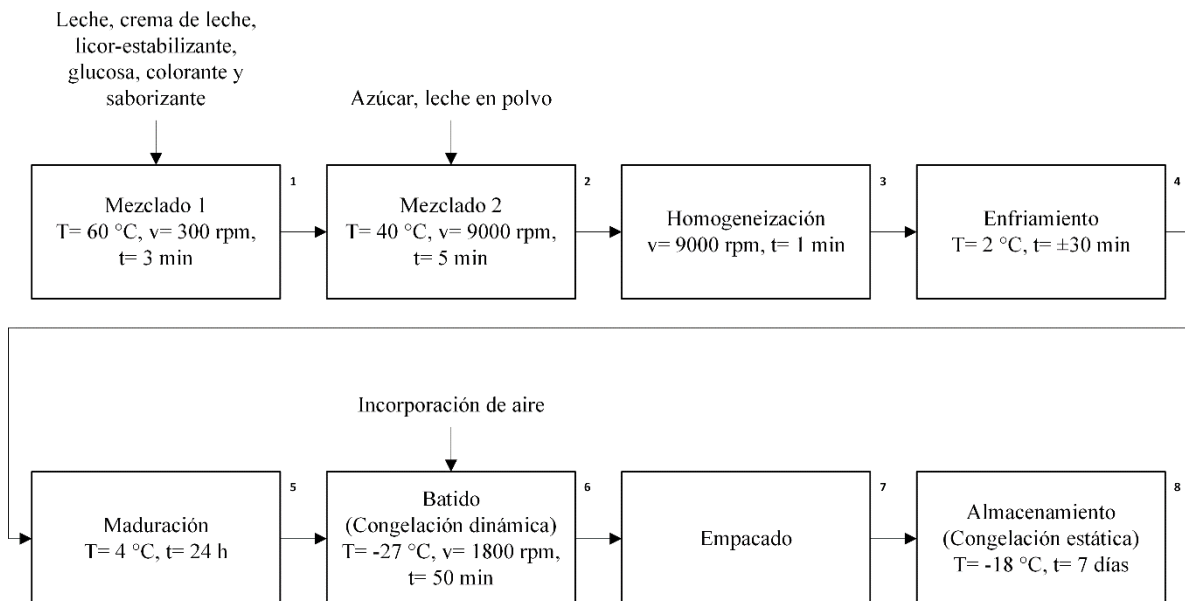
## Elaboración del helado con licor

Para fabricar las muestras de helado (Figura 2), se pesaron las materias primas (líquidos y sólidos) utilizando una balanza (Ohaus Adventurer, ARA520, China). La mezcla de los ingredientes se realizó en dos partes: primero se adicionaron los ingredientes líquidos (leche a 60 °C, crema de leche, licor-estabilizante, glucosa, colorante y saborizante, según correspondía de acuerdo con la formulación), con agitación constante a baja revolución ( $\pm 300$  rpm), durante tres minutos. Posteriormente, se incorporaron los ingredientes sólidos (azúcar y leche en polvo), la temperatura de la mezcla se mantuvo a 40 °C y se agitó a alta revolución ( $\pm 9.000$  rpm,  $\pm 5$  min) hasta obtener completa disolución. Se homogeneizó la muestra durante un minuto ( $\pm 9.000$  rpm). La mezcla se pasteurizó e inmediatamente se enfrió hasta 2 °C. Se adicionó la esencia de amaretto y el licor. Luego, se refrigeró a una temperatura que osciló entre 0 °C y 4 °C durante 24 horas (etapa de maduración). Usando una máquina para hacer helados (Princess, Modelo 282601, Alemania), la mezcla madurada para helados (MMPH) se congeló a -27 °C con agitación constante a 1.800 rpm durante 50 minutos. Finalmente, se envasó, etiquetó y almacenó a -18 °C en un congelador (Haceb, N300L SE, Colombia). Los análisis a las muestras de helado se realizaron una vez habían transcurrido 7 días en almacenamiento. El orden en que se fabricaron los helados se seleccionó al azar. Los experimentos se realizaron por triplicado.



**Figura 1.** Diseño simplex con centroide.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** Etapas de la preparación de las fórmulas de helado (T: temperatura, v: velocidad, t: tiempo).

Fuente: Elaboración propia

## Determinación de los parámetros de calidad

### *Fisicoquímicos*

La determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó a las muestras de MMPH después de 24 horas de maduración. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

### *Sólidos solubles (°Brix)*

Luego de calibrar el refractómetro (ATAGO ATC, modelo FG-109 de 0-90 %, Japón) con agua destilada, y utilizando un gotero, se introdujo la muestra a temperatura ambiente (27 °C) en el prisma, y se realizaron los registros de °Brix directamente del equipo.

### *pH*

Se midió con un potenciómetro HANNA (Instruments) H13220, según el método oficial de análisis 981,12 (Association of Analytical Communities [AOAC], 2000). El peso de la muestra fue de  $20 \pm 1$  g, cantidad de muestra suficiente para que el electrodo estuviera totalmente sumergido. Las muestras se encontraban a temperatura ambiente (27 °C) para evitar errores en los resultados y los valores se registraron directamente del equipo.

### *Acidez (%)*

La medición de la acidez se efectuó mediante una titulación con solución de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración 0,09612 N. Se pesaron 2 g de muestra (m) en una balanza Ohaus Adventurer (ARA520, China), se diluyeron en 10 mL de agua destilada y se le añadieron 3 gotas del indicador fenolftaleína. Se llenó una bureta con NaOH, se registró este volumen y posteriormente se procedió a titular hasta observar el cambio de color en la muestra. El volumen final marcado en la bureta también se registró para determinar el volumen de solución gastado. La acidez se determinó como el porcentaje de ácido láctico (Ramirez-Navas et al., 2015) mediante la ecuación 1:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{90(V_{\text{NaOH}})(N_{\text{NaOH}})}{m} 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde V es volumen de solución gastado, N es la concentración de hidróxido de sodio y m es el peso de la muestra.

### *Densidad*

Utilizando un picnómetro Gay-Lussac, se determinó el volumen exacto del instrumento, como el cociente entre las diferencias de masas (picnómetro vacío y picnómetro lleno de agua) y la densidad del agua a 25 °C. Determinado el volumen del picnómetro, lleno de la mezcla de helado se pesó en una balanza Ohaus Adventurer (ARA520, China). El cálculo de la densidad ( $\rho$ ) se realizó con la resta del peso del picnómetro vacío, el valor del peso del picnómetro lleno con la

muestra y se dividió entre el valor del volumen fijo del picnómetro calculado inicialmente (ecuación 2), este proceso se realizó por triplicado.

$$\rho = \frac{\text{picnómetro vacío}(g) - \text{picnómetro con muestra}(g)}{\text{volumen picnómetro (mL)}} \quad \text{Ecuación 2}$$

### ***Punto de congelación***

El punto de congelación se determinó a partir del calor latente, con el uso de un ultracongelador (REVCO) y con termocuplas conectadas a un termómetro de cuatro canales (sperdirect - tipo K 800023). Las muestras se agregaron a recipientes plásticos con tapas perforadas, ubicando las termocuplas en el centro geométrico del recipiente (Ramírez-Navas et al., 2015). El equipo tomó las temperaturas de cada muestra durante una hora y las registró cada minuto; se hizo por triplicado y con un blanco de agua destilada. Con los datos obtenidos se graficaron las curvas de congelamiento y se determinó el punto de congelamiento aparente.

### ***Color***

Para determinar el color se empleó un espectrocolorímetro (Hunter Lab ColorFlex, EE. UU.), utilizando como referencia el iluminante D 65 y el observador 10°. Se calibró el instrumento con los platos de referencia (verde, negro y blanco). Se hicieron las lecturas de color para las MMPH. A cada muestra se le realizaron tres lecturas, con lo cual se establecieron los parámetros L\*, a\*, b\*. A partir de los datos resultantes se estimaron la cromaticidad (C\*) y la saturación (h\*), de acuerdo con las ecuaciones reportadas por Ramírez-Navas (2010).

## **Determinación de los parámetros reológicos**

### ***Textura***

La textura se evaluó con el texturómetro EZ Test (Shimadzu, EE. UU.), el cual se adecuó con la celda de 10 N, mediante la prueba de penetración, con la cual se midió la dureza del helado. Se empleó un vástago que se introdujo a 10 mm de profundidad y con un descenso del émbolo de 30 mm/min. La prueba se realizó por triplicado a cada muestra de helado congelado y los datos se registraron en unidad de fuerza, Newton (N) (Ramírez-Navas et al., 2015).

### ***Propiedades funcionales***

Las pruebas para determinar los parámetros de calidad se realizaron a las muestras de helado después de siete días de almacenamiento. Se determinó: tiempo de caída de primera gota (TCPG), porcentaje de derretimiento (PD) y *overrun* (PO). Para TCPG y PD (ecuación 3), se colocó una muestra de aproximadamente 70 g (MI) de helado almacenado a -18 °C, sobre una malla de 56 orificios cm<sup>-2</sup>, se midió el TCPG y se pesó la masa de helado derretida (MD) cada dos minutos. El ensayo se realizó a temperatura ambiente (entre 25 °C y 27 °C) (Ramírez-Navas et al., 2015). El PO se determinó de acuerdo con el trabajo de Ramírez-Navas et al. (2015),

midiendo el peso de los volúmenes de una mezcla de helado de 50 mL antes y después de ser congelada (ecuación 4).

$$\% \text{ Derretimiento} = \frac{MD}{MI} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\% \text{ Overrun} = \frac{P_{Vm} - P_{Vh}}{P_{Vh}} 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde MD es la masa derretida, MI es la masa inicial de helado,  $P_{Vm}$  es el peso del volumen de la mezcla y  $P_{Vh}$  es el peso del volumen del helado.

### ***Propiedades organolépticas***

En el análisis sensorial se evaluaron todas las mezclas estudiadas con dos tipos de test de análisis sensorial orientados al consumidor (test hedónico de siete puntos y un test de preferencia), según lo descrito por Ramírez-Navas et al. (2015). La evaluación sensorial se realizó en dos horarios: mañana (10:30 a 11:30 a. m.) y tarde (2:30 a 3:30 p. m.), en la Universidad del Valle (Cali, Colombia). En el análisis participaron 141 consumidores no entrenados (estudiantes, profesores y funcionarios de la universidad), de género masculino y femenino, con edades entre 18 y 65 años. La duración de la prueba no superó los diez minutos.

Para hacer el test hedónico de siete puntos y el test de preferencia se entregó a cada consumidor cuatro de las siete posibles formulaciones de helado en copas desechables (con 4 g de producto), codificadas con tres números aleatorios (GG = goma guar, CL = carragenina, MC = metilcelulosa, GG: 283, CL: 597, MC: 145, MC-GG: 264, MC-CL: 528, GG-CL: 489 y MC-GG-CL: 323), un vaso de agua, galletas de sal y el formato de evaluación (Ramírez-Navas et al., 2014). Asimismo, se explicó con detalle la metodología del análisis, en el cual se evalúa el olor, color, sabor, textura y grado de alcohol de cada muestra mediante una calificación de 7 puntos, donde 1 es “me disgusta extremadamente” y 7 es “me gusta extremadamente”. Las formulaciones fueron agrupadas a su vez de manera aleatoria asegurándose de que tuvieran la misma posibilidad de ocupar el primer lugar, para evitar el error de posición.

### **Análisis estadístico**

Para hacer el análisis estadístico de los resultados que corresponden a los parámetros fisicoquímicos, funcionales tecnológicos y texturales se realizó una ANOVA, con el programa SPSS® v18, con nivel de significancia del 95 % y con pruebas comparativas, como la prueba de Tukey. Además, para elaborar las gráficas (dispersión, torta, barras, telaraña) y las tablas se utilizó el programa Excel. Específicamente, para hacer las gráficas de contorno se usó el programa Minitab 18, y para las pruebas sensoriales se emplearon estadísticas no paramétricas, como las pruebas de Friedman y Wilcoxon, en el software especializado SPSS® v18.



## Parámetros éticos

### *Consentimiento informado*

Para hacer las encuestas del análisis sensorial se realizó una introducción y explicación clara a los consumidores del por qué, para qué y cuál era el objetivo de estas pruebas. Además, se les explicó brevemente cada uno de los ingredientes del producto para determinar si alguno de los participantes era alérgico o presentaba alguna inhabilidad, de manera que se pudiera apartar de la prueba. Adicionalmente, se solicitó a cada persona que diligenciara el consentimiento por escrito si estaba de acuerdo en que se utilizara la información obtenida en las encuestas para la investigación.

## Resultados y discusión

La calidad total de un alimento se puede determinar con cinco grupos de parámetros: calidad sensorial, calidad nutricional, calidad sanitaria, calidad fisicoquímica y calidad funcional (Ramírez-Navas, 2019). En esta investigación se evaluaron los parámetros fisicoquímicos, sensoriales y funcionales de helados elaborados con tres estabilizantes comerciales.

## Parámetros fisicoquímicos

### *Densidad, pH, °Brix y acidez*

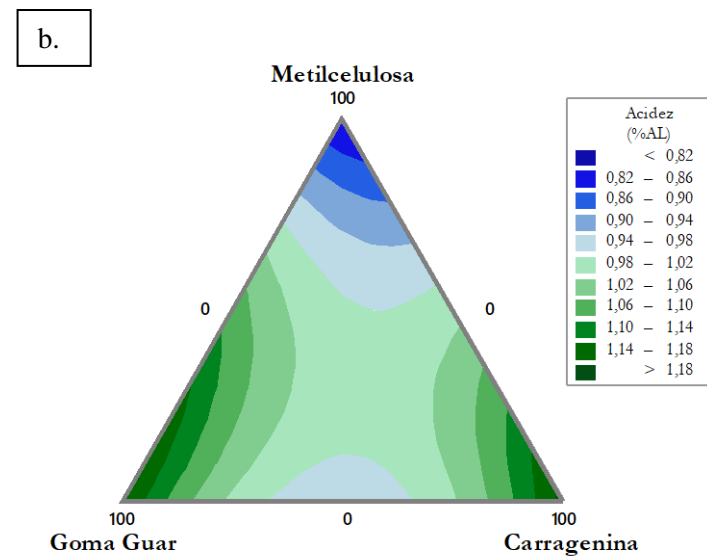
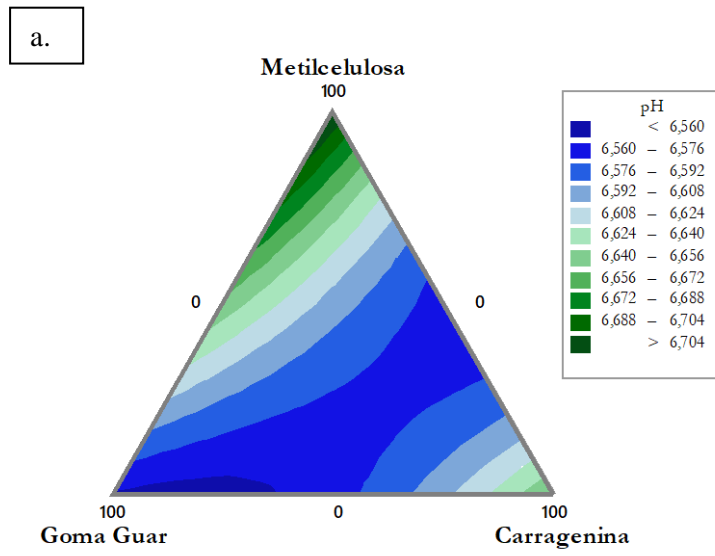
En la tabla 2 se presentan los resultados de pH, °Brix, acidez y densidad para las diferentes mezclas. Adicionalmente, la figura 3 contiene las gráficas de contorno para pH, °Brix, acidez y densidad. En el análisis estadístico no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en los resultados de acidez. Sin embargo, pH, °Brix y densidad sí tuvieron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre algunas mezclas.

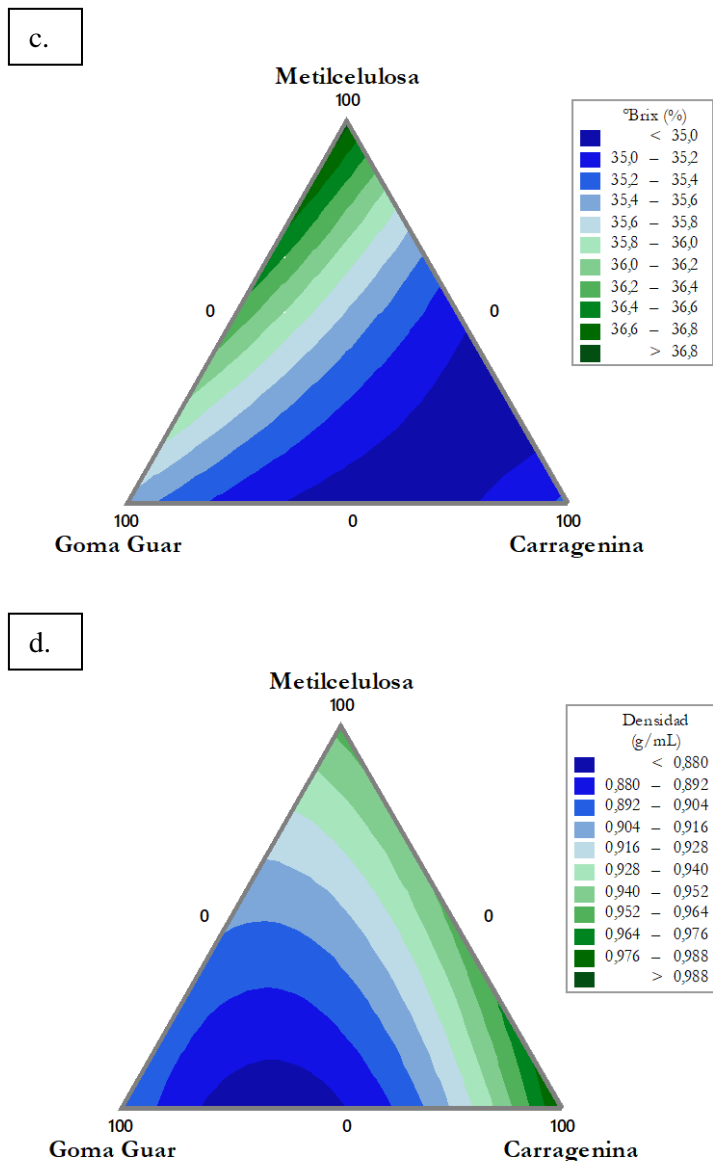
**Tabla 2.** Propiedades fisicoquímicas (promedio y error estándar de la media) de la mezcla de helado con alcohol etílico a diferentes concentraciones de metilcelulosa, goma guar y carragenina

Formulación	pH	°Brix (%)	Acidez (%AL)	Densidad (g/mL)
MC, GG, CL				
1, 0, 0	6,72 ± 0,022 <sup>b</sup>	36,67 ± 0,765 <sup>b</sup>	0,80 ± 0,053 <sup>a</sup>	0,95 ± 0,006 <sup>ab</sup>
0, 1, 0	6,56 ± 0,003 <sup>a</sup>	35,33 ± 0,267 <sup>ab</sup>	1,17 ± 0,143 <sup>a</sup>	0,90 ± 0,008 <sup>ab</sup>
0, 0, 1	6,66 ± 0,006 <sup>b</sup>	35,06 ± 0,300 <sup>ab</sup>	1,18 ± 0,101 <sup>a</sup>	0,99 ± 0,029 <sup>b</sup>
½, ½, 0	6,66 ± 0,021 <sup>b</sup>	37,13 ± 0,624 <sup>b</sup>	1,13 ± 0,147 <sup>a</sup>	0,92 ± 0,003 <sup>ab</sup>
½, 0, ½	6,57 ± 0,015 <sup>a</sup>	35,84 ± 0,434 <sup>ab</sup>	1,06 ± 0,069 <sup>a</sup>	0,97 ± 0,034 <sup>b</sup>
0, ½, ½	6,57 ± 0,014 <sup>a</sup>	35,70 ± 0,819 <sup>ab</sup>	1,00 ± 0,102 <sup>a</sup>	0,90 ± 0,037 <sup>ab</sup>
⅓, ⅓, ⅓	6,57 ± 0,019 <sup>a</sup>	33,53 ± 0,948 <sup>a</sup>	0,89 ± 0,032 <sup>a</sup>	0,86 ± 0,029 <sup>a</sup>

a, b superíndices igual no representan diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Fuente: Elaboración propia





**Figura 3.** Diagramas ternarios de contornos: a. pH; b. Acidez; c. °Brix; d. Densidad.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de pH para cada mezcla se encuentran en el rango entre 6 y 7, con un valor más bajo para las mezclas que contenían dos o más estabilizantes, esto debido a la presencia de hidrógenos en mayor proporción. Según Posada-David et al. (2012), el incremento del contenido de estabilizantes generalmente eleva la acidez y disminuye el pH. Para las mezclas con menor valor de pH se presentó un incremento en el valor del porcentaje de acidez, como es el caso de las mezclas con más contenido de CL y GG (véase el contorno de pH en la figura 3a). Este incremento es un factor indeseable porque afecta la textura del helado: proporciona una viscosidad excesiva y menos estabilidad en la mezcla, debido a la capacidad que tienen estos estabilizantes de retrasar la velocidad de crecimiento de los cristales de hielo, lo cual impide el

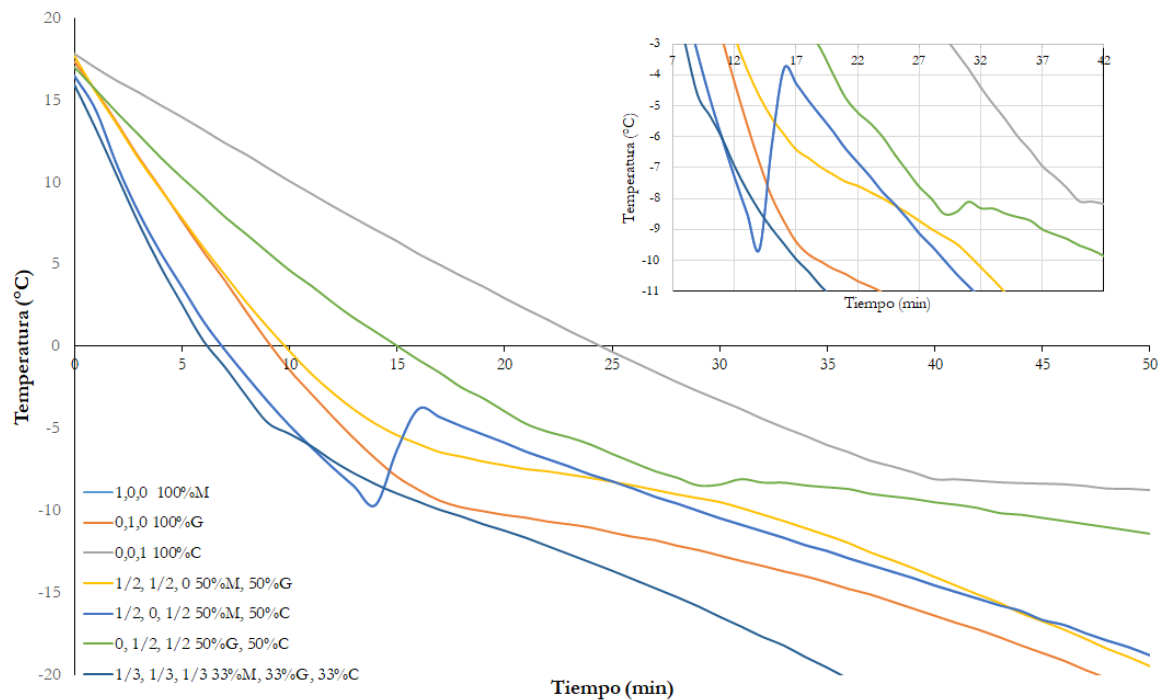
movimiento molecular del agua y, por lo tanto, evita la agregación de los cristales (Posada-David et al., 2012). Tal como lo mencionaron Suárez et al. (2012), al comparar la cremosidad en geles con ausencia y presencia de GG, el pH es un factor decisivo en la ausencia de GG. El rechazo a esta sensación se evidenció en los resultados de las pruebas sensoriales.

Los resultados del porcentaje de sólidos solubles medidos como °Brix evidencian un rango entre 35 % y 37 % como máximo, siendo más alto para las mezclas que contenían MC, como se observa en la zona verde oscuro de la gráfica de contorno para °Brix (figura 3c), y bajo para las mezclas con contenido de GG y CL. Este efecto se debe a que los hidrocoloides compiten por el agua disponible en la mezcla con las moléculas del polisacárido, lo cual retrasa la velocidad de hidratación y, finalmente, disminuye su porcentaje de solubilidad en la mezcla (Castañeda-Ovando et al., 2020). Sin embargo, según Posada-David et al. (2012) los valores son normales y muestran un adecuado comportamiento de estos estabilizantes en la mezcla.

Por último, la densidad (figura 3d) de las diferentes mezclas osciló entre 0,86 y 0,99 g/mL: aumenta en las mezclas con mayor contenido de estabilizantes, es más baja para las mezclas con contenido de GG (zona azul oscuro) y más alta para las mezclas con contenido de CL (zona verde oscuro). La densidad en la mezcla varía principalmente por su composición: disminuye en la medida en que aumenta el contenido de grasa y disminuye la cantidad de sólidos no grasos, como los hidrocoloides. Según Zambrano Mayorga et al. (2019), esta tendencia está relacionada con la emulsión y la formación de espuma, ya que al adicionar emulsionantes a la mezcla, estos incrementan el tamaño de las células de aire, de manera que se aumenta el volumen y disminuye la densidad. Adicionalmente, la densidad de cada uno de los componentes desempeña un papel importante en la disminución de la densidad de la mezcla, como es el caso del alcohol etílico, que presenta una densidad no mayor que 0,789 g/mL. Una densidad adecuada para las mezclas de helados varía entre 1,0544 hasta 1,1232 g/mL (Abrate Deco, 2017). Sin embargo, según la NTC 1239 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec] (2002), la densidad mínima requerida es de 0,475 g/mL, lo cual confirma que los valores obtenidos no son óptimos, pero se encuentran en el rango permitido para helados y mezclas para helados.

### **Punto crioscópico (PC)**

En la figura 4 se presentan las curvas de congelación y los puntos de congelación de los siete tratamientos. Los PC de las mezclas de helado fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre sí. Se observa que los valores obtenidos para las mezclas en las que se utilizó un solo ingrediente (MC, GG, CL) poseen valores menores, oscilando entre  $-9,63$  °C y  $-8,10$  °C; los valores de las combinaciones (50 % - 50 %) oscilaron entre  $-8,10$  °C a  $-3,80$  °C; y, la muestra del (33 % - 33 % - 33 %) obtuvo en promedio  $-5,33$  °C.



**Figura 4.** Curvas de congelación de mezclas de helados (con ampliación de los puntos crioscópicos en la parte superior derecha).

Fuente: Elaboración propia

Se observa que cuanto más compleja es la mezcla de estabilizantes, más cercano es el PC a los valores reportados en la literatura. Al respecto, Goff y Hartel (2013) afirman que el PC es de aproximadamente  $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  para una mezcla que contiene grasa, sólidos lácteos no grasos, azúcar y estabilizante. Por su parte, Jaskulka et al. (1995) aseveran que el PC para mezclas de helado generalmente se encuentra entre  $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Asimismo, Posada-David et al. (2012) establecen el PC en un rango de  $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  para un helado duro, en el que se utilizó la GG como estabilizante. Dicho rango es coherente con los resultados del helado duro con MC y CL

( $1/2, 0, 1/2$ ) como estabilizantes, pues a esa temperatura se obtuvo un helado congelado, con una matriz que retenía el alcohol etílico.

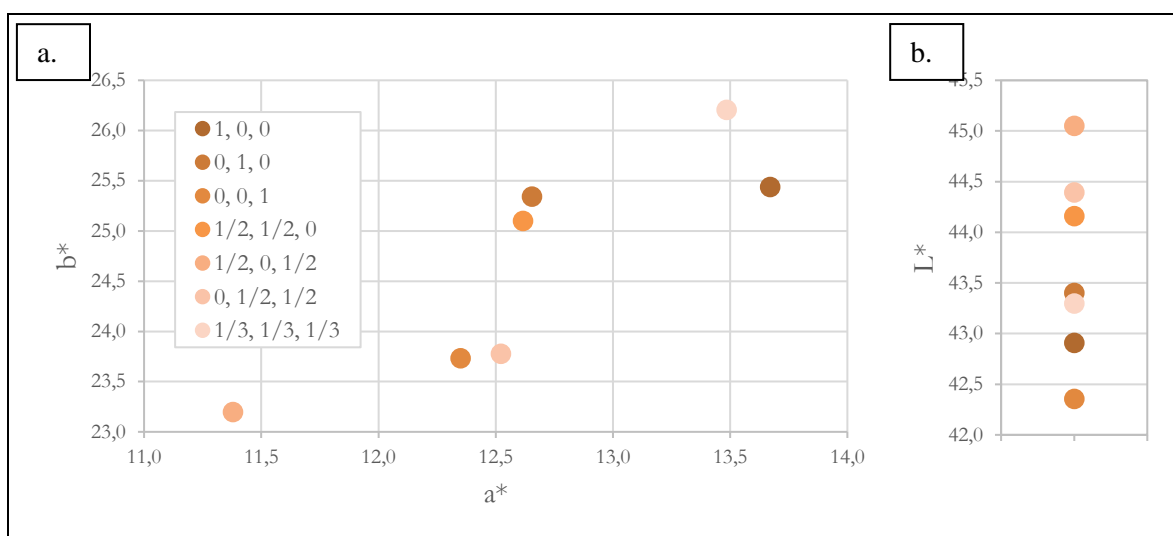
Los valores hallados en esta investigación se pueden deber a la adición de alcohol etílico, que tiene un PC de  $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Según Ball et al. (2010), la disminución de la temperatura de congelación está relacionada con la reducción de la presión de vapor del solvente. A medida que la concentración de solutos aumenta, la temperatura del punto triple de las mezclas disminuye, trasladando el equilibrio sólido-líquido a temperaturas más bajas. Este descenso de temperatura es proporcional a la concentración de solutos, mientras la solución esté bien diluida. Los cambios en este parámetro pueden alterar la velocidad de congelación del helado a una temperatura de almacenamiento específica (Patel et al., 2006).

La presencia del alcohol etílico en la mezcla modifica el PC, de manera que se requiere mayor cantidad de energía para congelarla. Eso evidencia que el PC del helado depende del tipo y el

contenido de los constituyentes de la mezcla, específicamente de los sólidos solubles y, en este caso, del alcohol etílico.

## Color

El helado se caracterizó por tener un color naranja claro. En la figura 5 se muestran las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de cada una de las mezclas evaluadas. Los parámetros de  $a^*$  y  $b^*$  obtuvieron unos valores positivos en cada muestra, lo que significa que tienden al rojo y amarillo, respectivamente (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Un alto valor de  $b^*$  indica que el alimento tiende a ser más amarillento, debido a la presencia de carotenoides en la grasa de la leche (Tiwari et al., 2015). En general, los valores de  $b^*$  para todos los tratamientos fueron de 23,2 a 26,2, valores mucho mayores que los reportados en una investigación en la que evaluaron el efecto de la concentración de emulsionantes en las propiedades fisicoquímicas del helado de vainilla, con un valor  $b^*$  de 14,89 (Rubiano-Vargas et al., 2022).



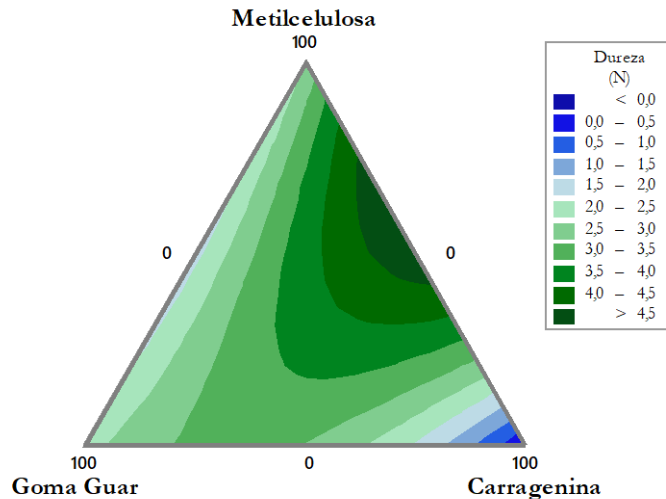
**Figura 5.** Parámetros de color para mezcla de helado con alcohol etílico a diferentes concentraciones de metilcelulosa, goma guar y carragenina.

Fuente: Elaboración propia

Al hacer el análisis de varianza (ANOVA), con  $p < 0,05$ , para comparar las mezclas de todos los tratamientos, se encontraron diferencias significativas en las dos propiedades de color, lo cual significa que sí fue afectado por el cambio de estabilizantes en la mezcla. En los tratamientos con mayor concentración de GG se obtuvo una mayor luminosidad, en comparación con los tratamientos que contenían CL, en los cuales se hallaron valores de  $L^* < 43$ . Se evidencia que todos los parámetros son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre las siete formulaciones estudiadas. El cálculo del croma arrojó valores de  $28^\circ$  para todas las mezclas. La mezcla más pura en cuanto al color se refiere fue la que contenía todos los estabilizantes MC, GG y CL ( $1/3$ ,  $1/3$ ).

## Textura

El análisis de textura realizado al helado congelado consistió en una prueba de penetración (Ramírez-Navas et al., 2015), con la cual se determinó la dureza, como la fuerza medida en Newtons en función del tiempo y de la profundidad de penetración (10 mm). Como se observa en la figura 6, la mayor fuerza de penetración se obtuvo para las mezclas con contenido de MC y CL en la misma proporción, seguida de la mezcla con los tres ingredientes estudiados, y la menor fuerza de penetración fue para la mezcla que contenía solo CL. Según Pintor-Jardines y Totosaus-Sánchez (2013) esto se debe a que la interacción con el hidrocoloide disminuye la cantidad de agua libre, de manera que se reducen los cristales de hielo y a su vez la dureza del helado. Otro factor importante en la disminución de la fuerza de penetración fue la incorporación del alcohol etílico en la mezcla, pues, como se mencionó anteriormente, el alcohol etílico tiene un PC muy bajo, lo que generalmente conlleva una separación de fases en la mezcla. Sin embargo, al adicionar los estabilizantes, que actúan como crioprotectores, se evita una posible separación de la mezcla y, a su vez, la recristalización del agua que queda libre. Adicionalmente, tienen la capacidad de reducir la tensión superficial en la interfase de dos fases que normalmente son inmiscibles (Pintor-Jardines & Totosaus-Sánchez, 2013; Tanaka et al., 1972). Al escoger los hidrocoloides se debe tener en cuenta qué tan buen estabilizante resulta, por lo que un análisis de textura es un buen método para determinar su funcionalidad en una mezcla con menos contenido de sólidos y grasas.



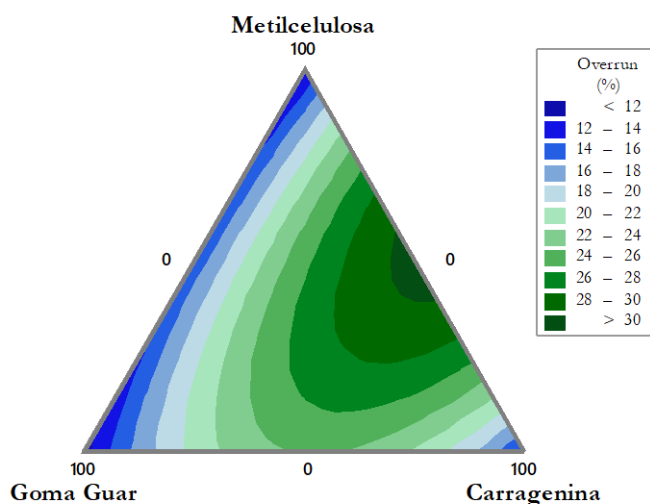
**Figura 6.** Diagramas ternarios de contornos para la penetración en muestras de helado con alcohol etílico a diferentes concentraciones de metilcelulosa, goma guar y carragenina

Fuente: Elaboración propia

## Parámetros de calidad

### *Overrun (PO)*

En la figura 7 se presenta la influencia de MC, GG y CL en la incorporación del aire (PO) en el helado con alcohol etílico. Como se observa, los valores de PO se encuentran entre 11% y 31%. Los valores menores se obtuvieron al utilizar un solo producto, pero cuando se realizaron las mezclas se observó un incremento en el PO. Los valores óptimos de PO se consiguen al combinar MC y CL con bajos contenidos de GG. En la misma figura 7, se muestra que la formulación con mayor PO estuvo compuesta por MC y CL ( $\frac{1}{2}$ , 0,  $\frac{1}{2}$ ) con un PO de 30,28 %. Según Posada-David et al. (2012), la incorporación de aire depende de la composición de la mezcla, así como de la clase y la cantidad del estabilizador y el emulsionante utilizado. Cabe señalar que se formuló un tipo de helado premium, que se caracteriza por tener un PO bajo, producto destinado a un mercado objetivo, que exige sabores exquisitos, materia prima de buena calidad y sensación en boca agradable y duradera.



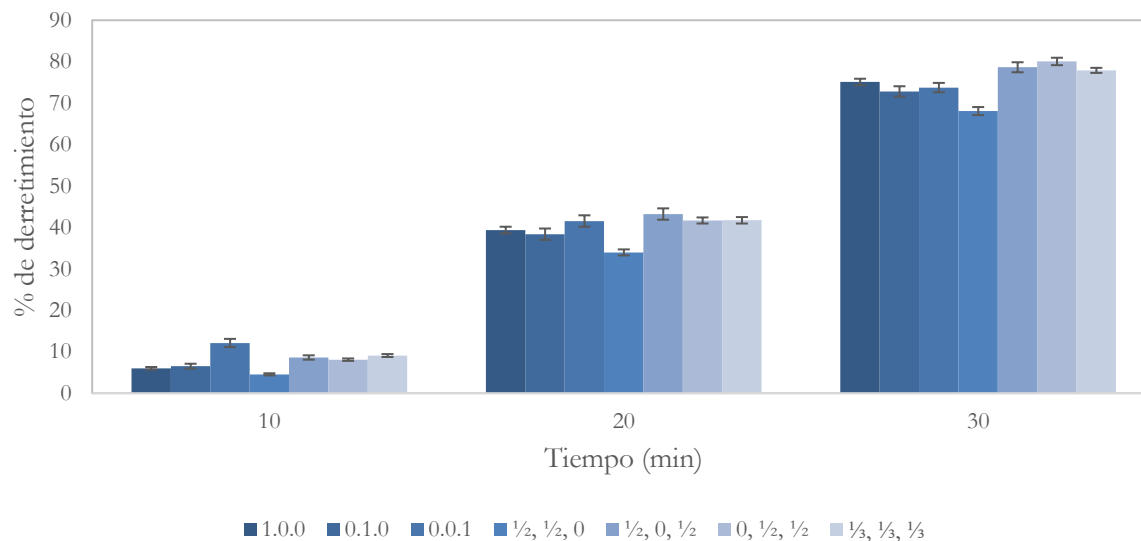
**Figura 7.** Diagramas ternarios de contornos para porcentaje de *overrun* en muestras de helado con alcohol etílico a diferentes concentraciones de metilcelulosa, goma guar y carragenina. Fuente: Elaboración propia

### Porcentaje de derretimiento (PD)

El PD en los helados es un parámetro que tiene relación directa con el aireamiento (PO), ya que el aire incluido en el interior de la matriz de un helado actúa como una barrera aislante ante la transmisión del calor desde el exterior, de manera que retarda el proceso de derretimiento (Sofjan & Hartel, 2004). En el caso de esta investigación, se observó que la relación entre PO y PD es inversa, es decir, valores bajos de PO se relacionan con valores altos de PD. En la figura 8 se presentan las gráficas de barras del PD a los 10 min, 20 min y 30 min, las cuales evidencian que



la velocidad de derretimiento evoluciona de manera exponencial. También se observa que la muestra que se demora mayor tiempo en derretirse es la mezcla MC y GG (bajo PD), mientras que la mezcla GG y CL es la que se derrite en menor tiempo (alto PD).

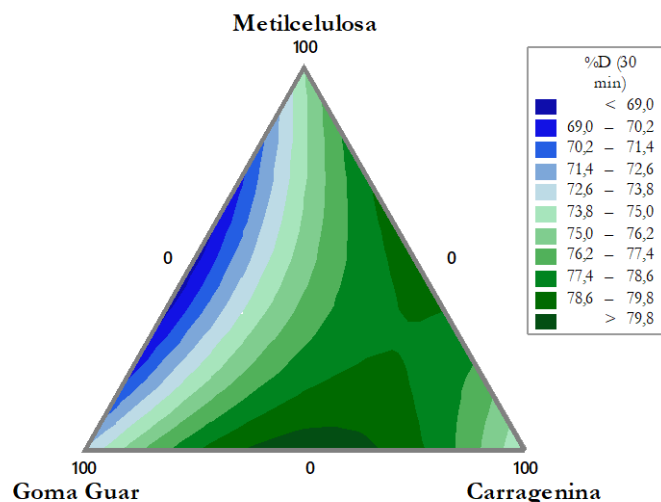


**Figura 8.** Porcentaje de derretimiento de helado con alcohol etílico a diferentes concentraciones de metilcelulosa, goma guar y carragenina

Fuente: Elaboración propia

La literatura señala que helados con porcentajes bajos de aireamiento tienen una menor resistencia al derretimiento que los helados con altos porcentajes de incorporación de aire (López et al., 2010; Muse & Hartel, 2004). El PD es importante en un helado por su fusión en boca y su derretimiento en el almacenamiento. Este parámetro se ve afectado por distintos factores, como el tamaño de los cristales de hielo, el contenido de grasa, el PO, entre otros. Los cristales de hielo más grandes incrementan la tasa de derretimiento, ya que requieren más tiempo para fundirse; a su vez, los helados que contienen gran cantidad de grasa o de aire tienden a fundirse lentamente, porque la grasa estabiliza la estructura de la espuma y las células de aire funcionan como un aislante (Abrate Deco, 2017).

Se estima que una persona se demora aproximadamente 30 minutos en consumir completamente un helado. En la figura 9 se observa el gráfico ternario de contornos para el PD a los 30 min. Las formulaciones que menos se habían derretido, de acuerdo con su peso, fueron las mezclas con la combinación de MC y GG (1/2, 1/2,0), GG (0, 1, 0) y MC (1, 0, 0), lo cual demuestra que utilizar la GG y MC, o sus combinaciones como estabilizante, ayuda a retardar el derretimiento del helado.



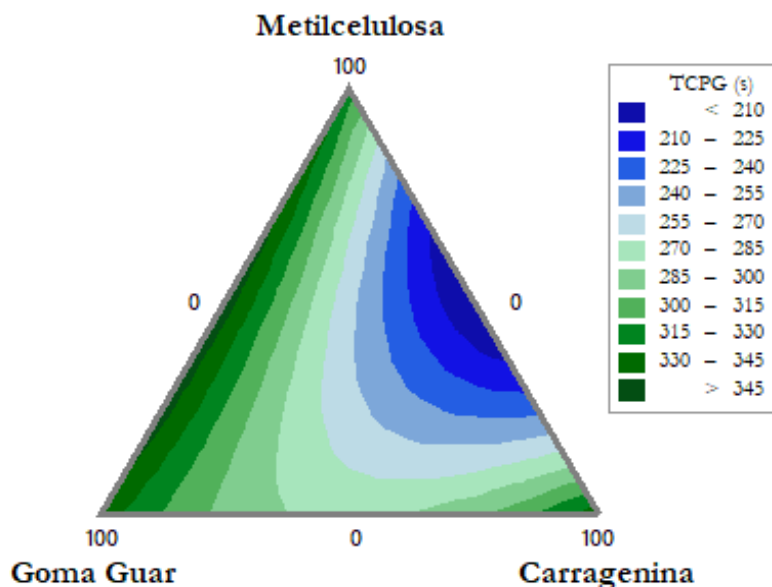
**Figura 9.** Diagramas ternarios de contornos para porcentaje de derretimiento en muestras de helados duros con adición de tres estabilizantes.

Fuente: Elaboración propia

### Tiempo de caída de primera gota (TCPG)

Los helados no deben presentar PD muy altos, ni muy bajos, ya que este es uno de los parámetros de calidad más importantes que caracterizan un buen helado (Bahramparvar & Mazaheri, 2011). Un producto de fusión rápida es indeseable, pero un índice de fusión muy lento también puede ser indicativo de helados defectuosos. Los tiempos de derretimiento dependen de la formulación del helado, y frecuentemente se considera que los helados deben presentar TCPG superiores a 15 minutos (Posada-David et al., 2012). Los valores obtenidos para TCPG oscilaron entre 3 y 6 minutos, los cuales son inferiores al tiempo mínimo esperado. Estos resultados tienen una relación directa con el PD y el PO, ya que el aire que se incorpora al helado actúa como aislante del calor, de manera que afecta de forma directa el PD. Es decir que a menor PO, mayor será el PD y, por lo tanto, el TCPG será más rápido.

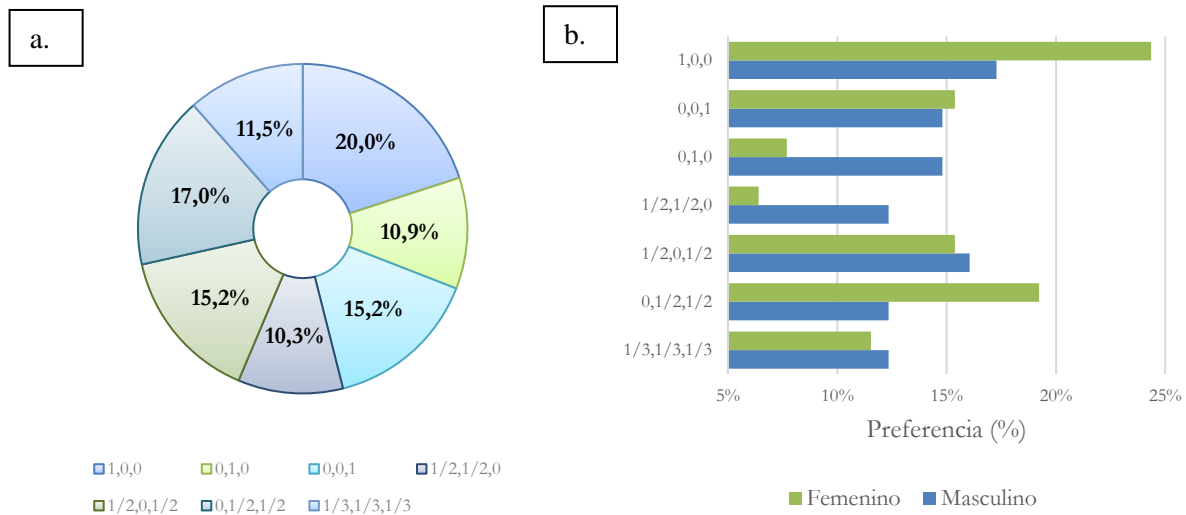
En la figura 10 se observa la influencia de MC, GG y CL en el TCPG en el helado con alcohol etílico y se evidencia que los tratamientos que contenían CL reportaron TCPG mucho menores a los que contenían MC y GG, lo cual es congruente con los resultados del parámetro de PD. La desestabilización de la grasa, el tamaño del cristal de hielo y el coeficiente de consistencia de la mezcla de helado afectan la velocidad de fusión del producto. No obstante, aunque los emulsificantes promueven la estabilización parcial de los glóbulos de grasa, con lo cual se reduce en gran medida la tasa de fusión (Muse & Hartel, 2004), es el alcohol etílico el principal factor modificador del tiempo de caída de primera gota.



**Figura 10.** Diagramas ternarios de contornos para TCPG en muestras de helado con alcohol etílico a diferentes concentraciones de metilcelulosa, goma guar y carragenina Fuente: Elaboración propia

### Análisis sensorial

En la figura 11 se presenta el análisis de preferencia, el cual reporta que el helado de mayor preferencia entre los panelistas fue el que contenía solamente MC (1, 0, 0), con 20 % de preferencia. Sin embargo, se puede considerar que, en general, los helados obtuvieron niveles de preferencia similares (15 % a 20 %), con excepción de los helados MC y GG ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 0), con 10,30 % de preferencia; GG (0, 1, 0), con 10,91 % de preferencia, y el helado con MC, GG y CL ( $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{3}$ ), con 11,52 % de preferencia. Posiblemente, la poca aceptación por la mezcla que contenía únicamente GG y sus combinaciones se le puede atribuir a la textura gomosa que este componente le aporta al producto. También se puede observar que los hombres no mostraron una preferencia marcada, ya que todos los helados les gustaron por igual (12,35 % a 17,28 % de preferencia). En contraste, en el grupo de las mujeres se evidenció que el helado que menos les gustó fue el que solo contenía GG (0, 1, 0), con 6,41 % de preferencia, y el helado que más les gustó fue el que solo contenía MC (1, 0, 0), con 24,36 % de preferencia.

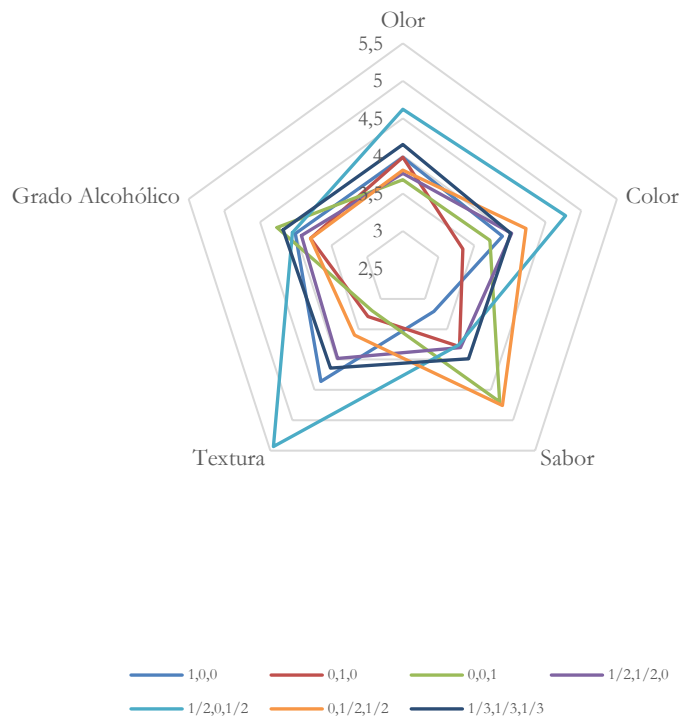


**Figura 11.** Gráficas de preferencia: a. Porcentaje global de preferencia para cada formulación; b. Porcentaje de preferencia para cada formulación según el género de los consumidores.

En los atributos de olor, color, sabor, textura y grado alcohólico, las siete formulaciones fueron significativamente diferentes entre sí, de acuerdo con la calificación de los consumidores ( $p < 0,05$ ). De los resultados de la prueba de Friedman y la de Wilcoxon (figura 12), se observa que para olor, color y textura obtuvo un mayor rango de preferencia el helado con MC y CL ( $1/2, 0, 1/2$ ). Con respecto al sabor, el helado con mayor rango de preferencia fue el que contenía GG y CL ( $0, 1/2, 1/2$ ), y para el grado alcohólico el helado de mayor preferencia fue el que contenía solo CL ( $0, 0, 1$ ). Además, se pudo evidenciar que en todos los tratamientos existen diferencias significativas para los atributos de olor ( $p = 7, E-08 < 0,05$ ), color ( $p = 4, E-13 < 0,05$ ), sabor ( $p = 2, E-15 < 0,05$ ), textura ( $p = 9, E-26 < 0,05$ ) y grado alcohólico ( $p = 4, E-02 < 0,05$ ).

En general, el color naranja claro del helado obtuvo una buena aceptación y calificación. En referencia a la característica de olor, se evidenció que los consumidores tuvieron dificultades para detectarlo debido al contenido de alcohol etílico, cuyo olor prevalecía sobre el de los otros componentes en la formulación, como la leche, la crema de leche y la leche en polvo.

Los consumidores calificaron el sabor como agradable y referenciaron que sintieron el sabor de licor, lo que era lo esperado en esta investigación, ya que es el ingrediente característico. Por último, el grado alcohólico tuvo una aceptación positiva por parte de los consumidores, y obtuvo resultados similares en todas las formulaciones. En general, una formulación que contenga CL como único estabilizante o combinación de él en forma equitativa obtendría buenas características sensoriales, según los consumidores evaluados.



**Figura 12.** Gráfico tipo “telaraña” que muestra la representación de los rangos promedio de la prueba de Friedman.

Fuente: Elaboración propia

### Optimización

Para realizar el ajuste del modelo mediante regresión cuadrática y, posteriormente, optimizar los parámetros que generan un valor agregado se utilizó el programa Minitab 18.

### Mezcla óptima

Para desarrollar la mezcla óptima, se escogieron parámetros de calidad funcional (PO, TCPG y PD a 30 min) y de calidad sensorial (olor, color, sabor y textura), porque son los indicadores que permiten cuantificar los requisitos de desempeño de un helado premium (Ramírez-Navas et al., 2015). Adicionalmente, estos parámetros determinan la percepción del consumidor frente a un producto innovador como es el helado con licor. La regresión cuadrática que se presenta en la tabla 3 muestra una asociación estadísticamente significativa entre los parámetros y cada uno de los términos, así como un  $R^2$  alto para todos los parámetros y del 100 % para el color, lo cual significa un correcto ajuste del modelo seleccionado. El signo positivo en los términos de la ecuación del modelo ajustado indica un aumento en la magnitud del término, mientras que el signo negativo indica la magnitud en la que disminuye el término.

**Tabla 3.** Regresión cuadrática para los parámetros de calidad y sensoriales

Parámetro	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (ajustado)
Derretimiento (%)	-80,61 MC -79,21 GG -68,64 CL -5,06 (MC)(GG) + 3,48 (MC)(CL) + 6,14 (GG)(CL)	97,6 %	97,4 %
Caída primera gota (s)	-284,6 MC -198,1 GG - 355,9 CL + 25,1 (MC)(GG) -89,3 (MC)(CL) - 10,0 (GG)(CL)	92,4 %	91,6 %
Overrun (%)	-24,14 MC -30,63 GG -14,40 CL + 2,89 (MC)(GG) + 18,00 (MC)(CL) + 11,73 (GG)(CL)	95,3 %	94,8 %
Olor	-3,83426 MC -3,70621 GG -4,00499 CL - 0,2910 (MC)(GG) -0,3550 (MC)(CL) -0,5471 (GG)(CL)	100 %	100 %
Color	-4,3396 MC -3,8335 GG -3,4555 CL -0,8544 (MC)(GG) -0,0922 (MC)(CL) -0,0282 (GG)(CL)	99,9 %	99,9 %
Sabor	-4,5212 MC -4,4603 GG -3,5517 CL + 0,008 (MC)(GG) + 0,804 (MC)(CL) + 0,588 (GG)(CL)	99,6 %	99,6 %
Textura	-3,883 MC -3,481 GG -3,578 CL -1,247 (MC)(GG) -0,698 (MC)(CL) -0,832 (GG)(CL)	99,4 %	99,4 %

CL: Carragenina ( $\lambda$ ), GG: Goma guar, MC: Metilcelulosa.

Fuente: Elaboración propia

Para optimizar los parámetros se definieron valores mínimos, máximos y objetivos en el programa Minitab 18, que se debían cumplir según los requerimientos para cada parámetro. En la optimización se buscó valores bajos de PD, y altos de TCPG y PO. El PO obtenido de los helados está dentro del rango permitido, sin embargo, se buscó maximizarlo, ya que un valor alto le brinda suavidad al producto. Además, dado que el PO determina la calidad del helado, idealmente estos valores se deben conservar en el rango de 100 % a 120 % (Sofjan & Hartel, 2004). Asimismo, se buscó minimizar el PD debido a que los consumidores prefieren un helado que presente una velocidad de fusión lenta. Sin embargo, debido a la incorporación de alcohol etílico, el valor de PD fue mayor a lo deseado. Para lograr lo anterior se requirió un TCPG más prolongado, por lo que se decidió maximizarlo.

Las características de olor, color, sabor y textura son parámetros sensoriales que se busca maximizar para tener una mayor aceptabilidad del consumidor. Lo anterior se resume en la tabla 4, que presenta los valores con los cuales se obtuvo la mezcla óptima (MO), que según los resultados del software debe contener 0,123 MC, 0,717 GG y 0,158 CL. La suma de estas fracciones es 0,998, por lo cual, mediante una proporción y asumiendo que 0,998 representa el 100 % de los estabilizantes de la mezcla, se pueden establecer los porcentajes o fracciones de los componentes. Así, esta mezcla debe contener el 12,32 % de MC, 71,84 % de GG y el 15,83 %

de CL. En la tabla 5 se muestra la formulación de mezcla óptima para 1.000 g de helado. Con esta formulación optimizada se obtuvieron los resultados que se consignan en la tabla 6.

**Tabla 4.** Rangos de las variables de respuesta para optimización

Parámetros	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
Derretimiento (%)	Mínimo	49,0	49,0	75,0
Caída primera gota (s)	Máximo	289,0	475,0	475,0
Overrun (%)	Máximo	19,0	35,0	35,0
Olor	Máximo	4,0	4,6	4,6
Color	Máximo	4,0	4,8	4,8
Sabor	Máximo	4,0	4,8	4,8
Textura	Máximo	4,0	5,4	5,4

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Formulación de helado optimizado

Ingredientes	Formulación de helado optimizado	
	%	(g)
Leche entera líquida	41,77	417,70
Leche en polvo	8,90	89,00
Crema de leche	23,16	231,60
Azúcar	9,26	92,60
Glucosa(jarabe)	2,27	22,70
Triple sec (38 % Alcohol)	13,92	139,20
Metilcelulosa	0,06	0,62
Carragenina	0,08	0,79
Goma guar	0,36	3,59
Colorante	0,02	0,20
Saborizante de amaretto	0,20	2,00
<b>TOTAL</b>	100,00	1000,00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.** Resultados de los parámetros de calidad y funcionales tecnológicos de la mezcla optima

Parámetros	Respuestas pronosticadas
Derretimiento (%)	74,63
Caída primera gota (s)	319,91
Overrun (%)	19,46
Olor	4,08
Color	4,19
Sabor	4,12
Textura	4,15

Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

Adicionar estabilizantes como MC, GG y CL en un helado con alcohol etílico mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas y funcionales. Las mezclas con adición de CL y GG presentan mayor acidez, pH bajos y menor °Brix, lo cual ocasiona menor estabilidad del helado. Sin embargo, estos parámetros se conservan en el rango de los valores permitidos y esperados.

Asimismo, la densidad de la mezcla disminuye y se aleja significativamente de los valores esperados debido a la presencia de los estabilizantes y del alcohol etílico. Sin embargo, se mantienen en el rango sugerido por la Norma Técnica Colombiana (Icontec, 2002). El PC disminuye significativamente debido, principalmente, al alcohol etílico, pero la combinación de MC y GG contrarresta el efecto del etanol. La MC en el helado proporciona un aspecto más luminoso, aumenta el porcentaje de PO y, en combinación con la GG, logra disminuir la velocidad de derretimiento y aumentar el tiempo de caída de la primera gota (TCPG), de manera que brinda una mayor calidad y aceptabilidad al helado con alcohol etílico.

En el análisis sensorial, la presencia de CL en el helado capta la atención de los consumidores, debido a la mínima modificación que esta realizó en la textura del helado y a que, de alguna forma, los consumidores manifestaron una disminución en el sabor del alcohol etílico. Este estabilizante es utilizado como espesante o gelificante secundario, por lo cual se añade poca cantidad y siempre va acompañado de otro estabilizante en mayor proporción.

La optimización realizada mediante simulación establece las proporciones de hidrocoloides que se deben utilizar en la mezcla para obtener parámetros de calidad óptimos. De acuerdo con este proceso, la GG es el actor principal, seguido de la MC y por último la CL, con una cantidad mínima.

Con la presente investigación se logró formular las proporciones necesarias de MC, GG y CL para formar la red géllica que mantenga el alcohol etílico dentro de la matriz, evitando separaciones indeseadas y manteniendo las características sensoriales aceptables para el consumidor.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al personal de los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle por su valiosa y desinteresada colaboración.

## Descargos de responsabilidad

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. En esta investigación se contó con el aval de los participantes para el panel sensorial.



## Referencias

- Abrate Deco, F. (2017). *Evaluación de la estabilidad en helados de crema utilizando diferentes tipos de proteínas*. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Córdoba, Argentina]. Repositorio institucional. <http://pa.bibdigital.uccor.edu.ar/1453/>
- Angioloni, A. (2013). Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. *Tecnifood. La Revista de la Tecnología Alimentaria*, 19, 97-99.
- Association of Analytical Communities [AOAC]. (2000). *Official methods of analysis* (14.<sup>a</sup> ed.). Association of Official Analytical Chemist.
- Bahramparvar, M., & Mazaheri Tehrani, M. (2011). Application and functions of stabilizers in ice cream. *Food Reviews International*, 27(4), 389-407. <http://doi.org/10.1080/87559129.2011.563399>
- Ball, D. W., Goode, S. L., & Reger, D. L. (2010). *Chemistry: Principles and practice* (vol. 3). Thomson Learning; Cengage Learning.
- Castañeda-Ovando, A., González-Aguilar, L. A., Granados-Delgadillo, M. A., & Chávez-Gómez, U. J. (2020). Goma guar: Un aliado en la industria alimentaria. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 7(14), 107-111. <http://doi.org/10.29057/icbi.v7i14.4988>
- Clarke, C. (2012). *The science of ice cream*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781847552150>
- Dziezak, J. D. (1991). A focus on gums. *Food Technology*, 45(3), 116-132.
- Goff, D. H., & Hartel, R. W. (2013). *Ice cream*. Springer Science Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2002). NTC-1239: Helados y mezclas para helados. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- y Research. (2019). Global commerce ice-cream market report, history and forecast 2014-2025, breakdown data by manufacturers, key regions, types and application [Reporte]. <https://industrygrowthinsights.com/report/commercial-ice-cream-machine-market/>
- Jaimés Duque, S., Ramírez-Navas, J. S., & Rodríguez de Stouvenel, A. (2017). Estabilizantes más utilizados en helados. *Heladería Panadería Latinoamericana*, 251(1), 66-75. [https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/319354587\\_Estabilizantes\\_mas\\_utilizados\\_en\\_helados/links/59a6bf910f7e9b41b789075c/Estabilizantes-mas-utilizados-en-helados.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/319354587_Estabilizantes_mas_utilizados_en_helados/links/59a6bf910f7e9b41b789075c/Estabilizantes-mas-utilizados-en-helados.pdf)
- Jaskulka, F. J., Smith, D. E., & Larntz, K. (1995). Development of an empirical model to predict the freezing point of ice cream mix. *Milchwissenschaft*, 50(1), 26-30.
- León, J., Maticorena, L., Ludeña, C., Farfán, R., & Montoya, P. (2014). *Diseño de una línea de producción de helados de crema a base de licor en Piura* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura, Piura, Perú]. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2031/PYT\\_Informe\\_Final\\_Lico\\_helado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2031/PYT_Informe_Final_Lico_helado.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Liebich, J. (1909). *Liquor-containing confection* [Patente]. <https://patents.google.com/patent/US943945A/en>
- Liendo, M., & Martínez, A. (2006). Sector lácteo: Industria del helado: Un análisis del sector [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina].

- <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/8809/martinez%20y%20liendo%20industria%20del%20helado.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- López Barón, F. N., Sepúlveda Valencia, J. U., & Restrepo Molina, D. A. (2010). Ensayo y funcionalidad de un sustituyente de sólidos no grasos lácteos en una mezcla para helado. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5729-5744. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179918602025.pdf>
- Mathias-Retting, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57-66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Miller-Livney, T., & Hartel, R. W. (1997). Ice recrystallization in ice cream: Interactions between sweeteners and stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 80(3), 447-456. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)75956-3](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)75956-3)
- Mora Pastor, J., & Maestre Pérez, S. E. (2017). *Fundamentos científicos de la heladería* (1.ª ed.). Universitat D'Alacant. [https://publicaciones.ua.es/libro/fundamentos-cientificos-de-la-heladeria\\_112602/](https://publicaciones.ua.es/libro/fundamentos-cientificos-de-la-heladeria_112602/)
- Muse, M. R., & Hartel, R. W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of Dairy Science*, 87(1), 1-10. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73135-5](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5)
- Suárez, H., Cabrera, K., Restrepo, D., Sepúlveda, J., & Ospina, M. (2012). Influencia de goma xantán y goma guar sobre las propiedades reológicas de leche saborizada con cocoa. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 51-59. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/796>
- Patel, M. R., Baer, R. J., & Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400-1406. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72208-1](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72208-1)
- Pintor-Jardines, M. A., & Totosa-Sánchez, A. (2013). Propiedades funcionales de sistemas lácteos congelados y su relación con la textura del helado: Una revisión. *CienciaUAT*, 7(2), 56-61. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942929009.pdf>
- Posada-David, L. R., Sepúlveda-Valencia, J. U., & Restrepo-Molina, D. A. (2012). Selección y evaluación de un estabilizante integrado de gomas sobre las propiedades de calidad en mezclas para helado duro. *Vitae*, 19(2), 166-177. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v19n2/v19n2a3.pdf>
- Ramírez-Navas, J. S. (2010). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 61, 52-58. [https://www.researchgate.net/publication/257890462\\_Espectrocolorimetria\\_en\\_caracterizacion\\_de\\_leche\\_y\\_quesos](https://www.researchgate.net/publication/257890462_Espectrocolorimetria_en_caracterizacion_de_leche_y_quesos)
- Ramírez-Navas, J. S. (2017). La ciencia de los helados [Ponencia]. I Congreso Iberoamericano de Ciencias Agroalimentarias IV Seminario de Investigaciones Agroindustriales. Buga, Valle del Cauca, Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/321732635\\_La\\_Ciencia\\_de\\_los\\_helados](https://www.researchgate.net/publication/321732635_La_Ciencia_de_los_helados)
- Ramírez-Navas, J. S. (2019). Parámetros de calidad. En J. S. Ramírez-Navas (Ed.), *Leches concentradas azucaradas: De la tradición a la ciencia* (pp. 237-271). Universidad Santiago de Cali. <https://doi.org/10.35985/9789585522466>
- Ramírez-Navas, J. S., Murcia Suárez, C. L., & Castro Cabrera, V. (2014). Análisis de aceptación y preferencia del manjar blanco del Valle del Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 20-27. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612014000100003&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612014000100003&script=sci_abstract&tlng=es)

- Ramírez-Navas, J. S., Rengifo Velásquez, C. J., & Rubiano Vargas, A. (2015). Parámetros de calidad en helados. *Revista Reciteia*, 15(1), 79-94. <https://revistareciteia.es.tl/v.-15-n.-1.htm>
- Rodríguez, T. (2017). Helados dietéticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(2), 72-76.
- Rubiano-Vargas, A. G., Rengifo-Velásquez, C. J., & Ramírez-Navas, J. S. (2022). Evaluación del efecto de la concentración de dos emulsionantes/estabilizantes comerciales sobre los parámetros de calidad de un helado de vainilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e1929. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num1\\_art:1929](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:1929)
- Sofjan, R. P., & Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14(3), 255-262. <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.005>
- Tanaka, M., Pearson, A. M., & Deman, J. M. (1972). Measurement of ice cream texture with the constant speed penetrometer. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 5(2), 105-110. [http://doi.org/10.1016/S0315-5463\(72\)74098-5](http://doi.org/10.1016/S0315-5463(72)74098-5)
- Tiwari, A., Kumar Sharma, H., Kumar, N., & Kaur, M. (2015). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of low-fat ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 68(3), 374-380. <http://doi.org/10.1111/1471-0307.12176>
- Zambrano Mayorga, L. F., Ramírez-Navas, J. S., & Ochoa-Martínez, C. I. (2019). Influencia de la formulación en las propiedades termofísicas y parámetros de calidad de un helado de crema de leche.