

Evaluación del efecto de la concentración de dos emulsionantes-estabilizantes comerciales sobre los parámetros de calidad de un helado de vainilla

Evaluation of the effect of the concentration of two commercial emulsifiers-stabilizers on the quality parameters of a vanilla ice cream

 Aixa Gisset Rubiano-Vargas¹  Cindy Johanna Rengifo-Velásquez¹
 Juan Sebastián Ramírez-Navas^{1,2*}

¹Universidad del Valle, Cali, Colombia.

²Pontificia 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, Cali, Colombia. juan.ramirez@javerianacali.edu.co

Recibido: 18 de abril de 2020
Aprobado: 25 de octubre de 2021
Publicado: 24 de enero de 2022

Editor temático: Jader Cortina, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]

Para citar este artículo: 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

Resumen: El uso de emulsionantes-estabilizante (EE) en la industria heladera mejora la dispersión de la grasa, facilita la incorporación de aire, mejora las propiedades de derretido, entre otras funciones. Sin embargo, si no se utilizan en una proporción adecuada, los EE pueden ocasionar cambios físicos, funcionales y sensoriales indeseados en el producto final. En el presente trabajo se evaluó el efecto de tres concentraciones de dos EE comerciales sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de un helado de vainilla. Se elaboraron lotes de helado de 1 L variando el tipo y concentración de EE. Se midió el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, el color y el punto de congelación de la mezcla del helado madurada por 24 h; también se evaluó el porcentaje de derretimiento, el tiempo de caída de primera gota y el overrun del helado final. Por último, se realizó un análisis sensorial con ayuda de un panel de diez panelistas semientrenados. Al incrementar el porcentaje de adición de cualquiera de los EE, se encontró que tanto la viscosidad y la saturación del color blanco-amarillo de la mezcla como el tiempo de caída de primera gota del helado incrementaron, mientras que el porcentaje de derretimiento disminuyó. Sin embargo, a medida que se incrementó la concentración de los EE utilizados en la formulación se deteriora el sabor del helado.

Palabras clave: aditivos alimentarios, propiedades fisicoquímicas, características funcionales, propiedades organolépticas, formulaciones, productos lácteos

Abstract: Emulsifiers-stabilizers (EE) in the ice cream industry improve fat dispersion, facilitates air incorporation, improves melting properties, and other functions. However, if they are not used adequately, it can cause unwanted physical, functional, and sensory changes in the final product. The effect of three concentrations of two commercial EEs on the physicochemical and sensory properties of a vanilla ice cream was evaluated. One-liter ice cream batches were made varying the type of EE and its concentration. The viscosity, color, and freezing point of the ice cream mix matured for 24 h were measured, the melting percentage, the Fall time of the first drop, and the overrun of the final ice cream were also evaluated. Finally, a sensory analysis was carried out with the help of a panel of 10 semi-trained tasters. Both EEs were found to increase the mixture's viscosity, the fall time of the first drop and white-yellow color saturation, and decreased melting. However, as the concentration of EE increases, the flavor of the ice cream deteriorates.

Keywords: dairy products, food additives, formulations, functional characteristics, organoleptic properties, physicochemical properties



Introducción

En Colombia, el consumo per cápita de helado pasó de 1 kg a 2,3 kg en los últimos cinco años (Lopez-Barón & Sepulveda-Valencia, 2012; Rodríguez-Ordóñez et al., 2019). La industria heladera está en la búsqueda de mejorar los procesos de fabricación, pues le interesa obtener mejores rendimientos de batido y disminución del derretimiento de los helados, factores que se pueden lograr con el uso del tipo y la concentración adecuada de emulsionantes-estabilizante (EE).

Los emulsionantes son sustancias que tienen la capacidad de reducir la tensión superficial en la interfaz de dos fases normalmente inmiscibles, que posteriormente se mezclan para formar la emulsión. Generalmente, se agregan en los helados emulsionantes a un nivel de 0,1 % a 0,3 %. Estos son efectivos para desestabilizar la emulsión de la grasa durante el congelamiento de la mezcla, favoreciendo la coalescencia parcial entre los glóbulos de grasa más cercanos, de modo que las burbujas de aire se estabilicen con una distribución homogénea que da como resultado la estructura y propiedades deseables del helado (Goff & Hartel, 2013a). Su mecanismo de acción para la desestabilización de la grasa está relacionado con la disminución de la tensión interfacial grasa/agua en la mezcla, lo que promueve el desplazamiento de proteínas de la superficie del glóbulo graso, reduciendo así la estabilidad del glóbulo graso y permitiendo la coalescencia parcial durante el batido y la congelación.

El grado de desplazamiento de la proteína de la membrana se da en función del tipo de emulsionante y la concentración (Loffredi et al., 2021). Debido a estas propiedades, los emulsionantes permiten incrementar el *overrun*; reducir el tiempo de batido; mejorar la resistencia al derretimiento; disminuir la formación de cristales de hielo, y aumentar la dureza y sequedad, lo que le imprime una textura suave y una sensación bucal deseable ligeramente grasosa, además de mejorar la uniformidad del producto (Hasenhuettl & Hartel, 2019).

Elaborar un helado sin considerar la incorporación de EE puede dar como resultado varios defectos, al igual que si se adicionan concentraciones inadecuadas de estos. Entre los problemas que se evidencian comúnmente están la disminución de la viscosidad de la mezcla para hacer el helado y la separación de fases (agua y materia grasa). También se evidencia disminución de la palatabilidad; mínima incorporación o inadecuada distribución de aire; pérdida de la capacidad de batido de la mezcla; poco cuerpo y textura; baja estabilidad durante el almacenamiento; incremento en el tamaño de cristales de agua y lactosa, y poca resistencia al derretimiento (Clarke, 2012; Goff & Hartel, 2013a; Jaimes-Duque et al., 2017). El empleo de EE en los helados está regulado en Colombia por la Resolución 2310 del 24 de febrero de 1986 (Ministerio de Salud, 1986) y la Resolución 1804 del 3 de febrero de 1989 (Ministerio de Salud, 1989).

Una revisión de la literatura científica evidencia la necesidad de realizar investigaciones que evalúen el efecto que tiene el cambio de concentración de EE sobre las características sensoriales y fisicoquímicas de helados, así como los beneficios que conlleva su empleo en la industria heladera. Por tal razón, en este estudio se evaluó dicho efecto, tomando como modelo el helado de crema, sabor a vainilla, para lo cual se escogió el EE adecuado para esta formulación y la concentración que consiga la mayor aceptación.

Materiales y métodos

Los ensayos para el estudio del efecto de la concentración de dos EE sobre los parámetros de calidad de un helado de vainilla se realizaron en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle, durante un periodo de aproximadamente ocho meses.

Materia prima y aditivos

Para la fabricación de las muestras de helado se emplearon los siguientes ingredientes: leche entera homogenizada UHT y leche descremada en polvo (Colanta, Colombia); crema de leche homogenizada y pasteurizada 33 % de materia grasa (MG) (Alquería SA, Colombia); azúcar blanca (Ingenio Providencia SA, Colombia); esencia de vainilla (RESPIN, Colombia), y estabilizantes comerciales (CD001 y PC001; composición: E471, E466, E407, E433), adicionados de acuerdo con el requerimiento de cada uno de los experimentos planteados. Los recipientes de almacenamiento utilizados fueron de poliestireno. Los insumos se adquirieron en los supermercados de la localidad y puntos de venta especializados. Se estableció una formulación base para aproximadamente 1.000 g de mezcla (Tabla 1), de acuerdo con los requerimientos fisicoquímicos mínimos que debe tener el helado de crema, según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1239 de 2002 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2002). Para determinar la cantidad de saborizante y de colorante, se realizaron pruebas preliminares.

Tabla 1. Formulación de helado base

Ingrediente	Cantidad (g)	Proporción (%)
Leche entera	546	54,53
Leche descremada en polvo	81	8,09
Crema de leche	245	24,47
Azúcar	98	9,79
Glucosa	24	2,50
Saborizante	2	0,20
Colorante	0,2	0,02
Emulsificante/Estabilizante *	5	0,50
Total	1.001	100

Nota: * La concentración de EE depende de la formulación evaluada; aquí se reporta, a manera de ejemplo, la concentración del 0,5 %.

Fuente: Elaboración propia

Diseño experimental

Se realizó un diseño factorial completamente aleatorio para analizar el efecto de los EE (CD001 y PC001) y su concentración por porción (0,3 % p/p, 0,5 % p/p y 1,0 % p/p) en las variables *respuestas fisicoquímicas*, *respuestas funcionales* y *respuestas sensoriales*. Para ello, se utilizó una formulación estándar base de un helado de crema con sabor a vainilla (Clarke, 2012). Las

unidades experimentales fueron lotes de helado de 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 tratamiento control fue helado de crema sin EE. El modelo estadístico para el diseño del experimento con dos factores aleatorios se presenta en la ecuación 1.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + e_{ij} \quad \text{Ecuación 1}$$

En esta ecuación, i es el tipo de EE (1,2) utilizado; j es la concentración (1, 2, 3); μ es la media general; τ_i es el efecto debido al EE; γ_j es el efecto debido a la concentración del EE; $(\tau\gamma)_{ij}$ es el efecto debido a la interacción del EE y su concentración; y e_{ij} es el error aleatorio.

Elaboración del helado de vainilla

Para la fabricación de las muestras de helado (figura 1), se mezcló leche líquida y crema de leche a 25 °C, con agitación constante durante 3 minutos. La mezcla se calentó hasta 40 °C. Se incorporaron los ingredientes sólidos (azúcar, glucosa, leche en polvo y EE) y se agitó hasta obtener completa disolución. Después, se pasteurizó la mezcla a 70 °C por 3 minutos y se homogenizó la muestra durante un minuto más. Luego, se realizó un enfriamiento de la mezcla hasta 2 °C y se adicionó la esencia de vainilla. Posteriormente, se refrigeró a una temperatura que osciló entre 0 °C y 4 °C por 24 horas (etapa de maduración). Usando una máquina para helados (Princess, Modelo 282601, Alemania), se congeló la mezcla madurada para helados (MMPH) a -22 °C con agitación constante a 1.800 rpm por 50 minutos. Finalmente, se envasó, etiquetó y almacenó a -18 °C en un congelador. El orden de fabricación los helados, según los diferentes tratamientos, se seleccionó al azar. Los experimentos se realizaron por triplicado.

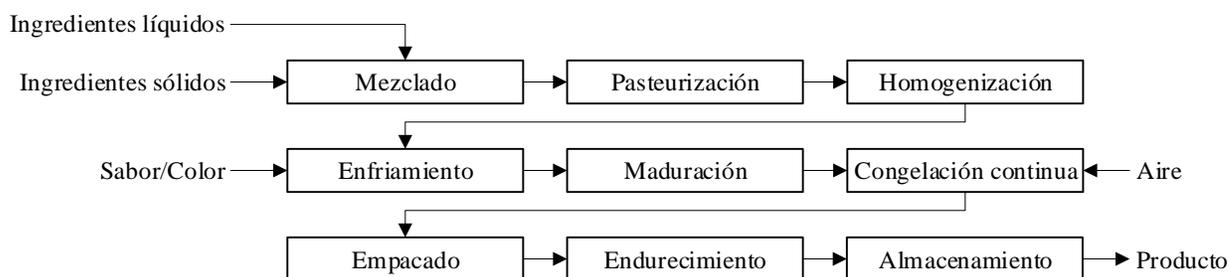


Figura 1. Etapas de la preparación de las fórmulas de helado

Determinación de los parámetros de calidad

Parámetros fisicoquímicos

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos se realizó sobre las muestras de MMPH después de 24 h de maduración.

pH

El pH se midió con un potenciómetro HANNA (Instruments) H13220, según el método oficial de análisis 981,12 (Association of Official Analytical Chemist [AOAC], 2000). Para ello, se tomaron 10 mL de la MMPH.

Punto de congelación

Las muestras se dispusieron en contenedores cilíndricos (35 mL de capacidad máxima) y se taparon. Por una abertura en la tapa del contenedor, se introdujo la termocupla, garantizando su ubicación en el centro geométrico. Los contenedores se colocaron dentro del ultracongelador (Reuco, EE. UU.). Las termocuplas se encontraban conectadas a un equipo de adquisición de datos (Síncron, Colombia), del cual se obtuvieron las temperaturas de las muestras cada 30 segundos hasta una temperatura constante. Para cada repetición, la adquisición de datos se realizó por duplicado, dando un total de seis conjuntos de datos por muestra. Con los datos obtenidos, se graficaron las curvas de congelamiento y se determinó el punto de congelamiento aparente (Rodríguez et al., 2002).

Viscosidad

La viscosidad se midió utilizando un reómetro ultraprogramable BrookField DV-III. Se utilizó el husillo o *spindle* 21. Se tomaron 15 mL de MMPH, después de 24 horas de maduración, para realizar las mediciones a temperatura ambiente (23 °C). Las determinaciones de flujo se realizaron exponiendo las muestras a medio ciclo de deformación, con barrido de velocidad de rotación del husillo ascendente de 20 a 140 rpm. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Los datos de la curva para todos los tratamientos se ajustaron al modelo de Ley de Potencia (ecuación 2) (Ramírez-Navas, 2006). De la linealización de la curva, se obtuvieron los valores del índice de flujo adimensional (n) e índice de consistencia k .

$$\tau = k\gamma^n \quad \text{Ecuación 2}$$

En la ecuación 2, τ es el esfuerzo cortante, k es el índice de consistencia, γ es el gradiente de velocidad y n es el índice de flujo.

Color

Para evaluar el color, se empleó un espectrocolorímetro (Hunter Lab ColorFlex, EE.UU.), utilizando como referencia el iluminante D65 y el observador 10°. A cada muestra se le realizaron

tres lecturas, obteniendo los parámetros L^* a^* b^* (Novoa & Ramírez-Navas, 2012). A partir de los datos obtenidos, se estimó la cromaticidad (C^*), la saturación (h^*) y el índice de amarillez (IA), de acuerdo con las ecuaciones reportadas por Ramírez-Navas (2010).

Características funcionales

Se realizaron pruebas para la determinación de los parámetros de calidad a los helados después de siete días de almacenamiento. Así, se determinó el tiempo de caída de primera gota (TCPG), el porcentaje de derretimiento (PD) y el porcentaje de *overrun* (PO). Para TCPG y PD (ecuación 3), se colocó una muestra de aproximadamente 70 gramos (masa de helado congelado, MI) a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, sobre una malla de 56 orificios por cm^2 ; se midió el TCPG y se pesó la masa de helado derretida (MD) cada dos minutos. El ensayo se realizó a temperatura ambiente (entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Ramírez-Navas et al., 2015). El PO se determinó, de acuerdo con 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).

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

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

En la ecuación 4, P_{Vm} corresponde al peso del volumen de la mezcla y P_{Vh} , al peso del volumen del helado.

Características organolépticas

Después de un día de almacenamiento de los helados, se realizó la evaluación sensorial. Las pruebas sensoriales se realizaron con un grupo de diez panelistas semientrenados de la Escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle (Colombia). El entrenamiento se llevó a cabo durante tres semanas, realizando pruebas sensoriales descriptivas a helados comerciales. Los panelistas calificaron parámetros de textura y sabor (Thompson et al., 2009).

Análisis estadístico

El análisis estadístico y la construcción de las gráficas se realizó empleando *software* especializado: Excel 2010®, Minitab 17, SPSS 23, GraphPad Prisma 7 y XLSTAT 2016. El efecto en las características fisicoquímicas se analizó empleando análisis de varianza (ANOVA) y como posHoc Tukey con un nivel de significancia de 95 %. Los parámetros sensoriales de preferencia se evaluaron utilizando las pruebas de Friedman y Wilcoxon (Domínguez et al., 2013; Ramírez-Navas, 2012; Ramírez-Navas et al., 2016). El perfil sensorial (panel semientrenado) se graficó usando un diagrama de telaraña para conocer la homogeneidad de los diferentes descriptores para un tipo de EE y sus concentraciones. La preferencia se graficó empleando un mapa externo de preferencia.

Resultados y discusión

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

Características fisicoquímicas

En la figura 2, se presentan los resultados de las características fisicoquímicas evaluadas en muestras de mezclas para hacer helados de vainilla elaborados con dos diferentes estabilizantes comerciales CD001 y PC001, en concentraciones del 0,3 %, 0,5 % y 1,0 %.

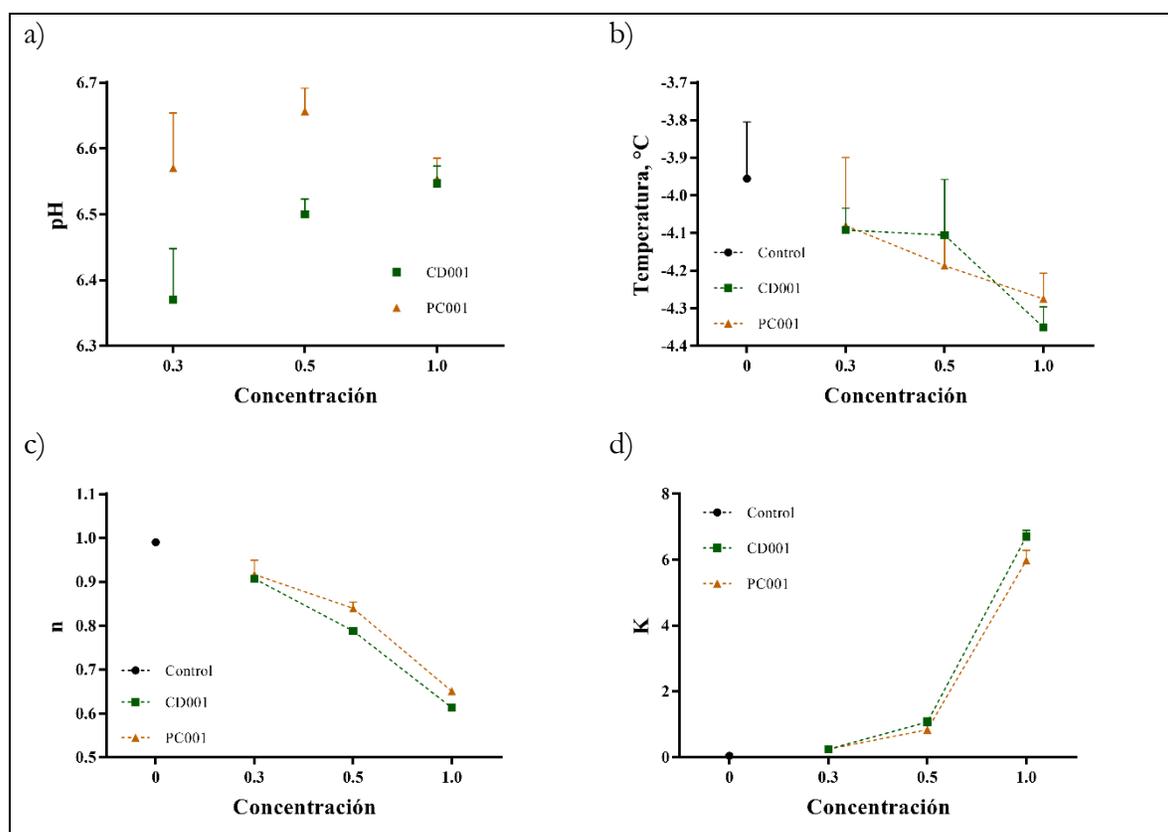


Figura 2. Características fisicoquímicas de helados elaborados con dos estabilizantes comerciales. a. pH; b. Punto de congelación; c. Índice de fluidez; d. Índice de consistencia
Fuente: Elaboración propia

pH

En la figura 2a se observa que los valores de pH variaron entre 6,37 y 6,66. Los valores de las muestras elaboradas con PC001, en todas sus concentraciones, fueron mayores que los de CD001. Al realizar los análisis de varianza, se evidencian diferencias significativas en el factor

EE ($p = 0,015$), pero no en el factor *concentración* ($p = 0,144$), ni en la interacción entre los dos factores ($p = 0,197$). La prueba de Tukey mostró que, entre las concentraciones de 0,3 % y 0,5 %, hay diferencias significativas entre EE. Sin embargo, en el valor de 1 % no se evidenciaron dichas diferencias.

Los valores obtenidos, para ambos estabilizantes, concuerdan con Madrid (2003), quien informó que el pH del helado fluctúa entre 6 y 7. Andrade-Fray (2012) reportó valores de 6,26 y 6,33 en pH en helados elaborados con harina de quinua y suero de leche en polvo (0, 15% y 25%) como sustitutos de los sólidos no grasos. Eras-López (2013) reportó valores entre 6,7 y 6,8 en helados con frutas nativas del cantón Loja. Caicedo-Cipagauta (2010) obtuvo valores de pH de 6,42 en su estudio de la viabilidad de la incorporación de bacterias probióticas microencapsuladas en helados. Adicionalmente, Posada-David et al. (2012) informaron un valor promedio de $6,83 \pm 0,04$ de pH para las diferentes concentraciones de EE, lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta experimentación.

Punto de congelación

En la figura 2b, se presentan los valores del punto de congelación para cada muestra. Se evidencia que, a mayor concentración, menor es el punto de congelación. Esto implica un mayor requerimiento de energía para lograr la solidificación del helado. Por otra parte, al comparar los EE y los diferentes niveles utilizados, se observa que hay una pequeña variación en las temperaturas, siendo menor para los niveles más altos de ambos EE. Lo anterior puede deberse a que el tamaño de un cristal puede afectar también el punto de congelación y una de las funciones de los EE es reducir el tamaño del cristal (Goff & Hartel, 2013b). Sin embargo, al realizar el análisis de varianza, tanto los factores EE ($p = 0,121$) y concentración ($p = 0,985$) como la interacción entre ellos ($p = 0,776$) presentaron un valor $p > 0,05$, concluyendo así que no hay variación o efecto significativo de estos factores sobre la variable de respuesta.

Un comportamiento similar obtuvieron Baer et al. (1997), comparando los puntos de congelación de helado bajo en grasa, al que le añadieron cuatro emulsionantes en tres niveles diferentes, los cuales no presentaron cambios significativos. Los mismos resultados obtuvieron Posada-David et al. (2012), quienes evaluaron el efecto de una mezcla de gomas de algarrobo, karaya y guar usada como emulsionante para helados, y reportaron un promedio de punto de congelación de las mezclas de $-4,55 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,13 \text{ }^\circ\text{C}$.

Viscosidad y parámetros reológicos

Con los datos de esfuerzo de corte y velocidad de corte se evidenció el comportamiento reológico de las mezclas de helados. Los datos se ajustaron al modelo de ley de potencia con valores de $R^2 > 99,99 \%$. De esta forma, se obtuvieron los valores de índice de fluidez (n , figura 2c) y de consistencia (K , figura 2d) para todas las muestras. Al observar la figura 2, se evidencia que, a medida que se incrementa la concentración de los EE, disminuye n y aumenta K . También es notorio el valor de n cercano a 1,0 de la muestra control, lo que indica su cercanía a un fluido newtoniano. Las muestras con EE presentan valores de n en un rango de 0,5 a 0,9, lo cual indica un comportamiento adelgazante o pseudoplástico (Steffe & Daubert, 2006). Resultados similares

fueron obtenidos por Pintor y Totosaus (2013) y Posada-David et al. (2012). Además, se puede observar que, conforme la concentración del EE aumenta, el valor de n de la mezcla disminuye, teniendo un comportamiento más pseudoplástico.

En ambos EE se observa un incremento de K al aumentar la concentración; sin embargo, entre ellos no se observan diferencias. Lo anterior se confirmó al realizar el análisis de varianza; los valores son $p < 0,05$, para el factor concentración, y $p > 0,05$, para el factor EE y la interacción entre los factores, lo que indica que el único factor que presenta diferencias significativas sobre K de la muestra es la concentración. La prueba de Tukey para el factor de la concentración evidencia diferencia significativa entre todos los niveles, siendo mayor el valor de K a medida que la concentración incrementa. Esto indica que existe una relación directa entre la concentración del EE y K ; además, al no evidenciarse una diferencia significativa para el factor emulsionante, se puede concluir que K se comporta de igual manera al usar CD001 o PC001.

Este efecto de la concentración del emulsionante sobre la viscosidad también fue reportado por Posada-David et al. (2012) en su investigación sobre gomas como emulsionantes, en la cual la viscosidad aparente varió entre 347,5-1645,5 cP. Otro estudio que reporta este mismo comportamiento fue el realizado por Baer et al. (1997), donde al aumentar el nivel de emulsionante en el helado se obtuvo una viscosidad mayor. Por su parte, O'Regan y Mulvihill (2009) reportan el mismo aumento de viscosidad al usar caseinato con sus espumantes y emulsificantes en la formulación. De igual manera, Lopez-Barón y Sepulveda-Valencia (2012) obtuvieron el mismo comportamiento en mezclas para helado que contenían un sustituyente de sólidos no grasos lácteos, en cuya formulación se encontraban diferentes ingredientes con propiedades emulsificantes como lo son la maltodextrina, los caseinatos, mono y diglicéridos de ácidos grasos.

Color

En la figura 3, se presentan los resultados de las características fisicoquímicas evaluadas en muestras de mezclas para hacer helados de vainilla elaborados con dos diferentes estabilizantes comerciales CD001 y PC001, en concentraciones del 0,3 %, 0,5 % y 1,0 %.

El color característico de un helado de vainilla es crema cercano al blanco ($L^* 99$; $a^* -1,5$; $b^* 14$). Los colores obtenidos para las muestras en las que se adicionaron los EE se encuentran cercanos a estos valores. Los valores de L^* se presentan en la figura 3a, que son cercanos a 100; por lo tanto, las muestras son luminosas. No se evidenciaron diferencias significativas en el factor *concentración* para PC001 ni para CD001. Sin embargo, los valores de L^* para los dos tipos de EE sí son significativamente diferentes ($p < 0,05$). Las muestras en las que se empleó CD001 tuvieron valores similares al de la muestra control; sin embargo, conforme se incrementó la concentración, se evidenció incremento en la opacidad de las muestras, mientras que las muestras con PC001 se vuelven ligeramente más luminosas conforme se incrementa la concentración. Este cambio de luminosidad puede explicarse en relación con la incorporación de aire o de sólidos. Al maximizar la incorporación de aire, el helado se vuelve más luminoso, mientras que al agregar más sólidos se vuelve más opaco (Hasenhuettl & Hartel, 2019; Lopez-Barón & Sepulveda-Valencia, 2012).

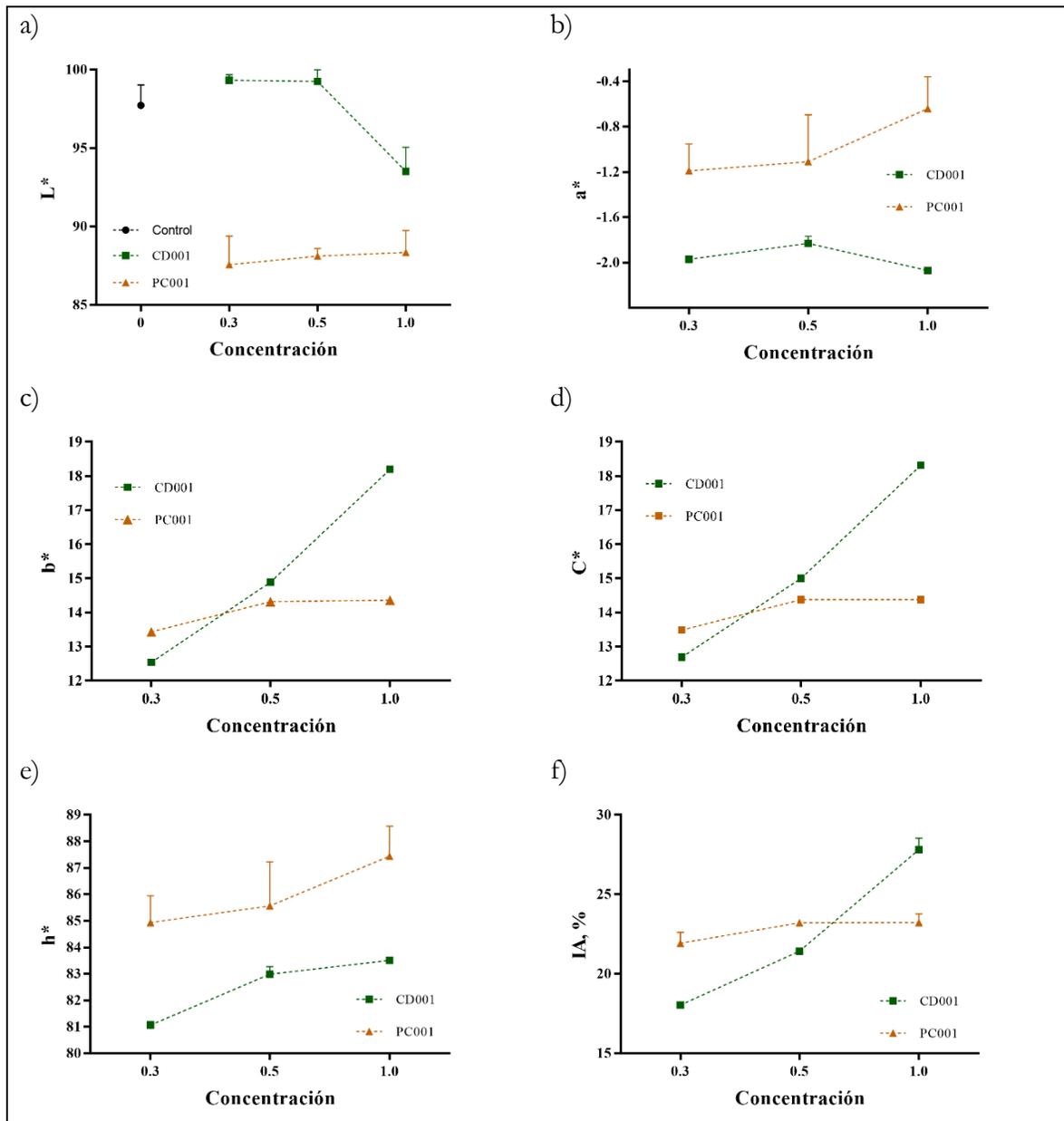


Figura 3. Parámetros de color de helados elaborados con dos estabilizantes comerciales
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3b se presentan los valores de a^* , donde se observa que el comportamiento de los EE es contrario, mientras que CD001 disminuye (tiende al verde), PC001 aumenta (tiende al rojo). Sin embargo, el parámetro a^* , al ser tan pequeño, no influye considerablemente sobre el color del producto. Comportamiento similar tiene h^* (figura 3e). En el caso b^* (figura 3c), los valores de dos de los EE aumentan al incrementarse la concentración. Esto indica que las muestras se vuelven más amarillas.

En la figura 3d, se presenta el cambio del croma, que representa el grado de pureza de color, en este caso el amarillo (Ramírez-Navas, 2010). C^* tiene un comportamiento similar al de b^* . Los valores de C^* indica que el amarillo es tenue, cercano al blanco. A medida que se incrementa la concentración del EE, se incrementa el valor de C^* . El análisis de varianza evidenció que hay interacción ($p < 0,05$) entre los factores EE y *concentración*, además que hay efecto tanto del tipo de EE como de las concentraciones. La prueba de Tukey demostró que sí hay diferencias significativas entre los dos tipos de EE. Asimismo, se observa que hay diferencia estadística entre los dos tipos de EE, teniendo la media de ΔC más alta el EE CD001; por lo tanto, este EE satura más el color del helado de vainilla. También existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres niveles de concentración; a medida que la concentración de EE aumenta, el color amarillo se intensifica. De igual forma, en la figura 3f se observa el incremento del índice de amarillez (color amarillo) a medida que aumenta la concentración del EE en los helados.

Características funcionales

En la figura 4, se presentan los resultados de las características funcionales evaluadas en muestras de helados de vainilla, elaborados con dos diferentes estabilizantes comerciales CD001 y PC001 en concentraciones del 0,3 %, 0,5 % y 1,0 %.

Porcentaje de overrun (PO)

En la figura 4a, se puede observar el porcentaje de *overrun*. Para los dos EE el PO aumenta a medida que se incrementa la concentración, lo que coincide con lo concluido por Posada-David et al. (2012). La incorporación de aire depende de la composición de la mezcla (contenido de grasa), así como de la clase y concentración del estabilizador y emulsionante utilizados. Del análisis de varianza para PO para cada factor del diseño, se observa que hay interacción entre los factores EE*concentración (0,005; $p < 0,05$) y hay una diferencia significativa para el factor *concentración* (0,000). Sin embargo, no se presentaron diferencias entre los dos tipos de EE (0,970; $p > 0,05$). Por otro lado, se observa que la adición de EE con relación a la muestra control (sin EE) tiene un valor mayor. El incremento de PO del helado se debe al aumento de la concentración del EE, lo que permite un incremento en la viscosidad y, con esta, en la capacidad de incorporar aire a la mezcla y evitar la coalescencia de las burbujas durante el batido (Clarke, 2012).

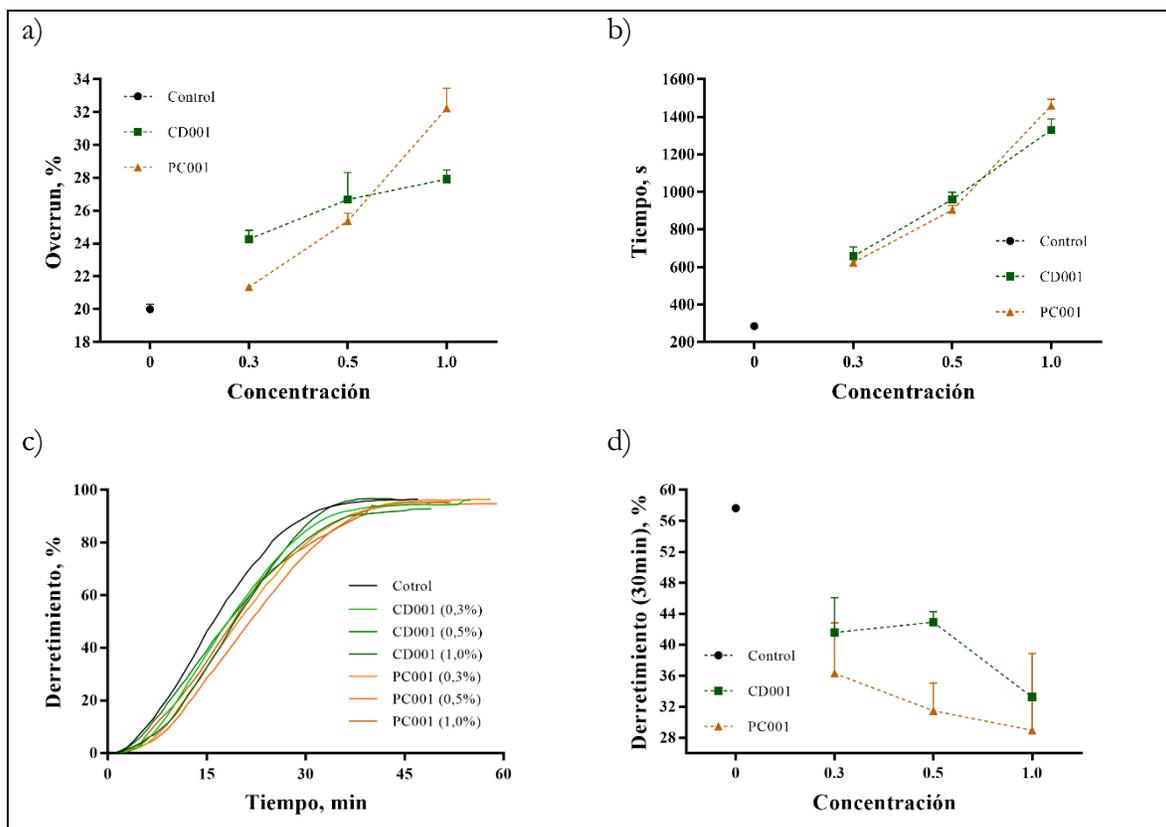


Figura 4. Características funcionales de helados elaborados con dos estabilizantes comerciales
Fuente: Elaboración propia

Tiempo de caída de primera gota (TCPG)

En la figura 4b, se presentan los tiempos (en segundos) para los TCPG. Se observa que, a medida que se aumenta la concentración de los dos EE, se incrementa el tiempo de caída de primera gota. Este comportamiento concuerda con lo reportado por (Jaimés-Duque et al., 2017). Esto se explica porque, al aumentar la concentración de los EE, se incrementa la concentración de sólidos en la mezcla y estos favorecen la retención de aire en la matriz, así como la disminución del derretimiento (Lopez-Barón & Sepulveda-Valencia, 2012). Los EE ayudan a estabilizar la emulsión debido a su estructura molecular, disminuyendo la tensión interfacial, además de desestabilizar parcialmente la grasa; esto es, ayudan a que se produzca cierta coalescencia y agregación de las gotas de grasa para que pueda ser formada una red que estabilice las burbujas de aire y, por lo tanto, la estructura del helado (Pintor & Totosa, 2013).

Adicionalmente, se observa que todas las muestras obtuvieron TCPG mayores al de la muestra control. Esto evidencia que hay un efecto de los EE sobre el TCPG, debido a que retarda el derretimiento. Se considera que los helados deben presentar TCPG superiores a 15 minutos (900s) (Posada-David et al., 2012); con respecto a esto, los helados con concentraciones del 0,5 % y 1,0 % para ambos EE cumplen con este requisito.

Porcentaje de derretimiento (PD)

En las figuras 4c y 4d, se presentan las curvas de derretimiento a las diferentes concentraciones y los valores de PD a 30 min. Se observa en la figura 4c que las curvas con menor PD corresponden a PC001, seguidas por las de CD001 y, finalmente, la muestra control, que es la que presenta un mayor PD en el tiempo. Adicionalmente, se observa que las curvas tienen un incremento de PD hasta el minuto 50, cuando ocurrió una coalescencia total de las burbujas de aire del helado. Rebollo (2008) informó que la fusión del helado ocurre cuando dos burbujas entran en contacto y la película entre ellas se rompe.

Entre las curvas de PD a las concentraciones de 0,3 % y 0,5 % de CD001, no se observan diferencias significativas; por lo tanto, a concentraciones mayores a 0,5 % para el EE CD001 se logra disminuir significativamente el PD del helado.

Para el análisis se tomó el dato del porcentaje de derretimiento al minuto 30 (figura 4d), que es el tiempo normal en el que una persona consume el helado. Se evidencia que para ambos EE a mayor concentración disminuye el PD. Este comportamiento coincide con lo reportado por Posada-David et al. (2012) y Zambrano-Mayorga et al. (2019). También es notorio que todos los tratamientos fueron más resistentes al derretimiento que la muestra control.

El ANOVA evidenció que no hay interacción entre EE*concentración (0,689; $p > 0,05$). Para el factor EE (0,150), no hay un efecto significativo ($p > 0,05$), ni hay una diferencia estadísticamente significativa entre los dos EE, por lo que se puede concluir que ambos EE tienen la misma capacidad para disminuir el PD del helado. Por otro lado, sí se presentó un efecto significativo ($p < 0,05$) para el factor *concentración* (0,001); por lo tanto, sí hay diferencias estadísticas entre los niveles utilizados (0,3 %, 0,5 % y 1,0 %) para este factor. Los niveles de concentración de 0,3 % y 1,0 % son estadísticamente diferentes, pero la concentración de 1,0 % da la media de derretimiento menor; por esta razón, es la concentración que permite que el helado dure más tiempo congelado, lo que coincide con lo reportado por Lopez-Barón y Sepulveda-Valencia (2012) y Velásquez-Cock et al. (2019).

Características organolépticas

En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos en el análisis sensorial del panel semientrenado. Se observan los valores obtenidos por las muestras de helados con diferentes concentraciones de EE para los descriptores de la textura (tex), sabor (fla) y color. Sensorialmente, la muestra que presenta una estructura menos uniforme es el helado fabricado con PC001 al 1,0 %. Esta muestra recibió los puntajes más bajos para color y homogeneidad, lo que concuerda con el análisis de color instrumental, que exhibió que, al usar el EE PC001, existe un cambio en el color (ΔE) mayor y que este cambio aumenta conforme lo hace la concentración del EE. El resto de las muestras presentan estructuras similares, siendo el helado fabricado con CD001 al 1,0 % el que presentó el mayor puntaje en los descriptores de firmeza, cremosidad, densidad y viscosidad, lo que se puede asociar con una dosis muy alta de EE.

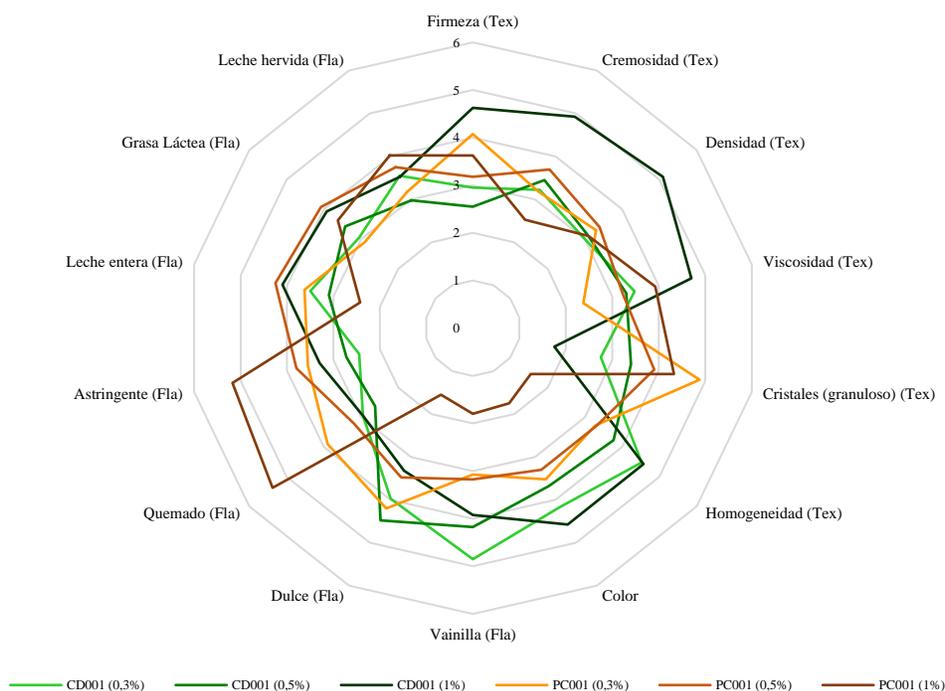


Figura 5. Perfil sensorial de helados con diferentes concentraciones de estabilizantes
Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de elaboración de los helados se generan diferentes sabores. Algunos son sabores indeseados, como los sabores a quemado, astringente, leche hervida, entre otros. Se espera que la calificación de éstos, asignada en la evaluación sensorial, sea baja. Mientras tanto, hay sabores que deben evidenciarse en un nivel medio como el lácteo o a leche entera y el sabor a grasa láctes. En mayor nivel a los anteriores, se desean sabores como el dulce y a vainilla, que permitan caracterizar el sabor del helado sin volverlo hostigoso.

Las muestras se presentan de manera muy similar a excepción del helado elaborado con PC001 al 1,0 % que, además de recibir el puntaje más alto en el parámetro astringente, presentó los niveles más bajos en los descriptores vainilla y dulce. Por lo anterior, se puede interpretar que el EE PC001 a esta concentración presenta defectos de cantidad, que es la proporción de sabor impartida por los materiales no lácteos agregados a esa concentración (Mostafavi, 2019).

Además de los descriptores presentados anteriormente, se realizó el análisis del tiempo de derretimiento en boca, para lo que se les pidió a los panelistas que contaran los segundos que tardaba cada muestra en derretirse en su boca. Los resultados de este análisis se presentan en la figura 6. Los tiempos de derretimiento en boca aumentaron a medida que se incrementó la concentración del EE; además, en todas las concentraciones el tiempo fue levemente mayor para los helados que contenían el EE PC001.

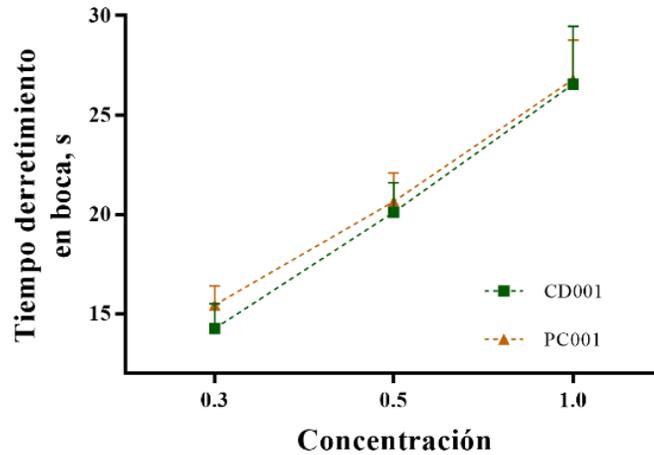


Figura 6. Tiempo de derretimiento en boca

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con los datos de las pruebas de preferencia (consumidores) y la calificación obtenida para cada parámetro (panel semientrenado), se construyó el mapa de preferencia. En la figura 7 se observa que los helados elaborados con CD001 a concentraciones del 0,3 % y 0,5 %, así como con PC001 al 0,3 %, fueron los preferidos por los consumidores. En orden decreciente de preferencia, se encuentran CD001 al 1 %, PC001 al 0,5 % y PC001 al 1 %. Se evidenció que hay un efecto negativo en las características organolépticas del helado al usar un EE a concentraciones sobre el 1 %. Sin embargo, a mayor concentración, mejores TPCPG y PO, y menores PD.

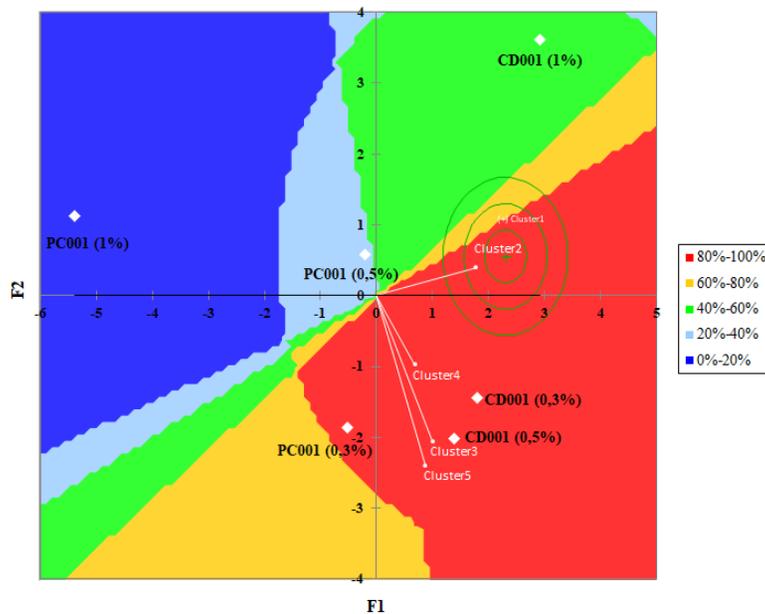


Figura 7. Mapa de preferencia

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Ambos EE aumentaron la viscosidad de la mezcla, disminuyeron el derretimiento, aumentaron el tiempo de caída de primera gota y aumentaron la saturación del color blanco-amarillo. Sin embargo, a medida que se aumenta la concentración del EE, se deteriora el sabor del helado. Las concentraciones del EE DC001 al 0,3 % y 0,5 %, y PC001 al 0,3 % presentan similitudes en sus características; además, obtuvieron buenas calificaciones por el panel sensorial, así que estas concentraciones podrían ser adecuadas para la elaboración de helados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal de los Laboratorios de la Escuela de Ingeniería de Alimentos 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.

Referencias

- Andrade-Fray, M. C. (2012). *Estudio de la harina de quinua y suero de leche en polvo (0%, 15% y 25%) como sustitutos de los sólidos no grasos en la elaboración de helados de leche* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador]. Repositorio ESPOCH <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3835>
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2000). *Official methods of analysis* (14 ed.). AOAC. <https://www.aoac.org/>
- Baer, R. J., Wolkow, M. D., & Kasperson, K. M. (1997). Effect of emulsifiers on the body and texture of low fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 80(12), 3123-3132. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76283-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76283-0)
- Caicedo-Cipagauta, Y. M. (2010). *Estudio de la viabilidad de la incorporación de las bacterias probióticas micro encapsuladas en helados* [Tesis de Especialización, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia]. Repositorio UNAL. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70202>.
- Clarke, C. (2012). *The Science of Ice Cream*. Royal Society of Chemistry. <https://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-127-0>
- Domínguez, V., Ortiz, T. A., Trujillo, O. E., & Ramírez-Navas, J. S. (2013). Preferencia y aceptación de Gelatina de Pata de Res. *Alimentos Hoy*, 22(1), 63-70. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/156/150>

- Eras-López, J. D. (2013). *Determinación de parámetros técnicos para la elaboración de helados con frutas nativas del cantón Loja* [Tesis de pregrado], Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. <http://bit.ly/2SpyfCY>
- Goff, D., & Hartel, R. (2013a). *Ice cream*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-6096-1>
- Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013b). Ice Cream Structure. *Ice Cream* (pp. 313-352). Springer. http://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1_11
- Hasenhuettl, G. L., & Hartel, R. W. (2019). *Food emulsifiers and their applications* (3 ed.). Springer Science. <http://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2002). *NTC-1239 - Helados y mezclas para helados Bogotá, D.C.* Icontec. <https://tienda.icontec.org/gp-helados-y-mezclas-para-helados-ntc1239-2002.html>
- Jaimes-Duque, S., Ramírez-Navas, J. S., & Rodríguez de Stouvenel, A. (2017). Estabilizantes más utilizados en helados. *Heladería Panadería Latinoamericana*, 251(1), 66-75. <https://bit.ly/3HSEpD1>
- Loffredi, E., Moriano, M. E., Masseroni, L., & Alamprese, C. (2021). Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. *Lwt*, 137, 110499. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110499>
- López-Barón, F. N., & Sepulveda-Valencia, J. U. (2012). Evaluation of non fat solids substitutes (NSL) in a hard dairy ice cream mix with vegetable fat. *Vitae-Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 19(2), 197-206. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042012000200006
- Madrid, V. (2003). *Helados: Elaboración, análisis y control de calidad*. AMV. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=178999>
- Ministerio de Salud. (1986). *Resolución número 02310 de 1986. "Por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979, en lo referente a procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los Derivados Lácteos"*. https://www.invima.gov.co/documents/20143/441425/resolucion_02310_1986.pdf/64615e1e-8373-b43e-e595-037af034b802
- Ministerio de Salud. (1989). *Resolución número 01804 de 1989. "Por la cual se modifica la Resolución No 02310 de 1986, (24 de Febrero) que reglamenta parcialmente el título V de la Ley 09 de 1979"*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-1804-de-1989.pdf>
- Mostafavi, F. S. (2019). Evaluating the effect of fat content on the properties of vanilla ice cream using principal component analysis. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(3), 2417-2425. <http://doi.org/10.1007/s11694-019-00162-z>
- Novoa, D. F., & Ramírez-Navas, J. S. (2012). Caracterización colorimétrica del Manjar Blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 54-60. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a07.pdf>
- O'Regan, J. D., & Mulvihill, D. M. (2009). Preparation, characterization and selected functional properties of sodium caseinate–maltodextrin conjugates. *Food Chemistry*, 115(4), 1257-1267. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.045>
- Pintor, M., & Totosaus, A. (2013). Propiedades funcionales de sistemas lácteos congelados y su relación con la textura del helado: Una revisión. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 7(2), 56-61. <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942929009.pdf>

- Posada-David, L. R., Sepulveda-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-Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 19(2), 166-177. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v19n2/v19n2a3.pdf>
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). Introducción a la Reología de Alimentos. *Revista RECITELA*, 6(1), 1-46. <https://bit.ly/2Soeyvg>
- Ramírez-Navas, J. S. (2010). Espectrocolorimetría: caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 61(1), 52-58. https://www.researchgate.net/publication/257890462_Espectrocolorimetria_en_caracterizacion_de_leche_y_quesos
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista RECITELA*, 12(1), 83-102. <https://bit.ly/2I7cbgv>
- 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). Editorial Universidad Santiago de Cali. <https://doi.org/10.35985/9789585522466>
- Ramírez-Navas, J. S., Callejas, G., Quiceno, C., & Valencia, Y. (2016). Consumer preference and acceptance of two Colombian sweet milks: Results of a consumer survey. *UGCiencia*, 21(1), 9-15. <http://doi.org/10.18634/ugcj.21v.1i.418>
- Ramírez-Navas, J. S., Rengifo-Velásquez, C. J., & Rubiano-Vargas, A. (2015). Parámetros de calidad en helados. *Revista RECITELA*, 15(1), 79-94. <https://bit.ly/331ozHC>
- Rebollo, L. (2008). Manual de procedimientos para el desarrollo de un helado reducido en calorías. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, México. Repositorio <https://silo.tips/download/manual-de-procedimientos-para-el-desarrollo-de-un-helado-reducido-en-calorias>
- Rodríguez-Ordóñez, J. E., Mejía-Giraldo, L. F., & Serna-Cock, L. (2019). Evaluación calórica y sensorial de una mezcla para helado formulado con inulina como sustituto parcial de grasa. *Revista UDCA. - Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2), 1-7. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1294>
- Rodríguez, F., Aguado, J., Calles, J. A., Cañizares, P., López, B., Santos, A., & Serrano, D. (2002). *Ingeniería de la industria alimentaria. Vol. III. Operaciones de conservación de alimentos*. Editorial síntesis.
- Steffe, J., & Daubert, C. R. (2006). *Bioprocessing Pipelines: Rheology and Analysis*. East Lansing, MI, EE.UU.: Freeman Press.
- Thompson, K. R., Chambers, D. H., & Chambers, I., E. (2009). Sensory Characteristics of Ice Cream Produced in the U.S.A. And Italy. *Journal of Sensory Studies*, 24(3), 396-414. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459x.2009.00217.x>
- Velásquez-Cock, J., Serpa, A., Vélez, L., Gañán, P., Gómez Hoyos, C., Castro, C., Duizer, L., Goff, H. D., & Zuluaga, R. (2019). Influence of cellulose nanofibrils on the structural elements of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 87(1), 204-213. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.035>
- Zambrano-Mayorga, L. F., Ramírez-Navas, J. S., & Ochoa-Martínez, C. I. (2019). Influence of the formulation on the thermophysical properties and the quality parameters of dairy ice cream. *Dyna*, 86(208), 117-125. <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72603>