

SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ESTABILIZANTE INTEGRADO DE GOMAS SOBRE LAS PROPIEDADES DE CALIDAD EN MEZCLAS PARA HELADO DURO

SELECTION AND EVALUATION OF A STABILIZER COMPOSED OF RUBBERS ON QUALITY PROPERTIES IN MIXTURES FOR HARD ICE CREAM

Liliana Rigey POSADA DAVID M. Sc.^{1*}, Jose Uriel SEPULVEDA VALENCIA M. Sc.¹,
Diego Alonso RESTREPO MOLINA M. Sc.¹

Recibido: Marzo 31 de 2011 Aceptado: Agosto 03 de 2012

RESUMEN

Antecedentes: El mercado actual demanda helados con excelentes características de textura y cuerpo, las cuales, en conjunto con el sabor, determinan en gran medida la aceptabilidad de estos. En esta industria es marcada la tendencia hacia el uso de estabilizantes integrados, que potencializan sinergismos entre componentes, obteniendo productos finales de mejor calidad. **Objetivos:** En el presente trabajo se evalúa el efecto de la adición de una mezcla de goma de algarrobo, goma guar y goma karaya como agentes estabilizantes sobre algunas características de calidad (bromatológicas, sensoriales y de estabilidad) de helados de crema duros. **Métodos:** La investigación se desarrolla en dos etapas; en la primera de ellas se evalúa el efecto de las gomas individualmente (100%), en mezclas binarias (50:50%) y en mezclas ternarias (33.3: 33.3: 33.3 %), aplicadas en un nivel del 0,3% (p/p) en el sistema mezcla de helado duro. En la segunda etapa, se evalúa el efecto del nivel de aplicación en la mezcla de helado duro, ensayando niveles de 0,3, 0,35 y 0,4% (p/p) de la mezcla 50% goma de algarrobo y 50% de goma guar, comparándola contra un testigo que tuvo un estabilizante comercial aplicado al 0,3% (p/p), lo cual originó cuatro tratamientos. **Resultados:** Con los resultados de la primera fase se realiza la determinación de la tixotropía, lo cual permitió establecer como mejores mezclas las correspondientes a la proporción 50% goma de algarrobo/ 50% goma guar y la mezcla 100% de goma guar, de acuerdo con la metodología de superficie de respuesta. La relación final de precios permitió seleccionar la mezcla goma guar: goma de algarrobo para aplicación, sumado a que dicha combinación posibilitó evaluar comportamientos e interacciones como mezcla. En la segunda etapa los resultados arrojan que el helado formado por la mezcla 50% goma de algarrobo y 50% goma guar, presenta un menor porcentaje de derretimiento y un menor tiempo en la caída de la primera gota frente al testigo. El tratamiento a 0,4% presenta mayor gomosidad, mientras que el testigo una mayor aspereza. La cualidad del sabor, en todos los tratamientos, se ve significativamente disminuida en el tiempo. **Conclusiones:** La mezcla seleccionada de algarrobo y guar tiene influencia positiva en las características evaluadas del helado frente al estabilizante comercial.

Palabras clave: Sensorial, hidrocoloide, helado, gomas, textura.

ABSTRACT

Background: Today's market demands ice cream with excellent texture and body properties, which together with the taste, determine to a large extent the acceptability of these. In this industry there is a marked tendency towards the use of integrated stabilizers that will enhance synergism between

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia –Sede Medellín. Medellín, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: lilianarigey@yahoo.es

components, obtaining better quality end products. **Objetives:** The present work aims at evaluating the effect of a carob, karaya and guar gum mixture, as thickening agent, on some quality characteristics (bromatological, sensory and stability) of hard ice creams. **Methods:** The research was conducted in two stages; in the first one is evaluated the effect of individually gums (100%), binary mixture (50:50 %) and ternary mixtures (33.3: 33.3: 33.3 %), applied at a level of 0.3% (w/w) in the hard ice-cream mix system. In the second stage, it is evaluated the effect of level of application in hard ice-cream mix, at testing levels of 0.3, 0.35 and 0.4% (w/w) of the mixture 50% carob gum and 50% guar gum, compared against a witness who had a commercial stabilizer applied in 0.3% (w/w), which resulted in four treatments. **Results:** With the results of the first stage it is performed the determination of thixotropy, which allowed us to establish as best mixtures the one corresponding to the proportion 50% carob and 50% guar gum and the 100% guar gum mixture, according to the response surface methodology. The final ratio of prices allowed choosing guar: carob gum for application, along with the fact that such combination made possible evaluating behaviors and interactions as a mixture. In the second stage, the results show that the ice cream formulated by mixing 50% carob gum and 50% guar gum, shows a lower percentage of melting and less time in the fall of the first drop compared to the control. The treatment 0.4% presents grater gumminess, while the control a higher roughness. The flavor quality is significantly diminished over time, in all treatments. **Conclusion:** The selected mixture of carob and guar gum, has positive influence on the evaluated characteristics against the commercial stabilizer of ice cream.

Keywords: Sensory, hydrocolloid, ice cream, gums, texture.

INTRODUCCIÓN

El helado es un sistema coloidal complejo formado por células de aire, cristales de hielo y glóbulos de grasa dispersos. El desarrollo estructural de éste se obtiene a través de la presencia de macromoléculas en la mezcla, como grasa, proteína y carbohidratos complejos. La grasa láctea es un componente de importancia ya que interactúa con otros ingredientes para desarrollar la textura, suavidad y cremosidad (1, 2).

Los estabilizantes son adicionados a la mezcla de helado para incrementar la viscosidad de la misma, prevenir la separación de la grasa, retardar el crecimiento de cristales de hielo y lactosa durante el almacenamiento, especialmente cuando están sujetos a fluctuaciones de temperatura, y para disminuir la migración de aire en los productos empacados (2, 3). Otras investigaciones señalan que los estabilizantes tienen impacto en la distribución inicial de los cristales de hielo en el helado y en el crecimiento de éstos durante las etapas de congelación y endurecimiento. Los hidrocoloides actúan mejorando la textura y la suavidad en el helado (2, 4).

Dentro del grupo de hidrocoloides está la goma algarrobo; ésta produce una estructura de gel fuerte alrededor de los cristales de hielo, ofreciendo alta resistencia a la formación de cristales de gran tamaño y protegiendo en la recristalización. También se encuentra la goma guar, la cual muestra reducción

en las velocidades de crecimiento de los cristales de hielo, debido al impedimento en el movimiento molecular del agua, evitando la agregación en los mismos (3, 5, 6). La karaya actúa favoreciendo la disminución de la velocidad de formación de cristales de hielo (es una de las gomas menos solubles), de tal forma que en realidad lo que hace es absorber agua, dando dispersiones muy viscosas por lo que es importante definir adecuadamente la concentración a usar con el fin de no generar problemas en la incorporación de aire durante el batido (6).

En los helados, la aceptabilidad de los consumidores es altamente definida por la textura y el sabor. El sabor es una característica sensorial detectada por los receptores de la lengua y la nariz, mientras que la textura, se percibe en la boca, durante el proceso de la masticación. Varios ingredientes contribuyen a esta estructura compleja que es el helado, entre ellos, los estabilizantes, debido a que pueden mejorar la estabilidad de la estructura, la textura y la calidad del producto final, si ejercen la funcionalidad apropiada (7, 8).

La tixotropía es la propiedad de algunos fluidos newtonianos y pseudoplásticos que muestran un cambio dependiente del tiempo en su viscosidad; cuanto más se someta el fluido a esfuerzos de cizalla, más disminuye ésta; facilitando con ello el transporte y asegurando su estabilidad en el tiempo (4, 7).

La dureza medida instrumentalmente, puede ser usada como medida práctica y objetiva del cre-

cimiento de cristales de hielo. El incremento del tamaño de los cristales de hielo durante el almacenamiento está acompañado de altos valores de dureza (4, 9). Puede también reflejar el impacto de los ingredientes (grasa, azúcar, proteínas, hidrocoloides) y las condiciones de procesamiento (homogenización, maduración, congelación y almacenamiento) en el producto final.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto adición de una mezcla de gomas algarrobo, karaya y guar, como agentes espesantes, sobre las propiedades relacionadas con la calidad de los helados de crema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de la combinación de hidrocoloides

Para seleccionar la mejor interacción de hidrocoloides, se realizó evaluaciones de tixotropía para siete combinaciones de las tres gomas (100% goma guar, 100% goma karaya, 100% goma de algarrobo, mezcla 50:50 de goma guar: goma karaya, mezcla 50:50 de goma guar: goma de algarrobo, mezcla 50:50 de goma de algarrobo: goma karaya, y mezcla 1/3 goma guar: 1/3 goma de algarrobo: 1/3 goma karaya). Se calentó a 35°C la premezcla de helado elaborada, que estuvo constituida por leche líquida, azúcar, grasa y emulsificante, simulando las características de un helado comercial. Se adicionó la mezcla de hidrocoloide (estabilizante), al 0,3% con respecto a la masa total de la mezcla de helado, agitando constantemente a 600 r.p.m. y pasteurizando a 72°C por 30 min, para luego proceder al enfriamiento a 4°C, temperatura que se mantuvo 24 horas, para luego proceder a realizar las determinaciones de las propiedades de flujo, las que se efectuó en un reómetro R/S Plus en su modo rotacional, utilizando como geometría cilindros concéntricos.

Para el análisis estadístico se tomó como variable respuesta el índice de tixotropía; este índice se obtuvo de la relación de viscosidades a una misma velocidad de corte.

Se realizó un diseño de mezclas el cual tomó efectos individuales, por pares y con tres componentes (las gomas), determinándose la mezcla óptima de los componentes de acuerdo con el índice de tixotropía máximo; expresado mediante el siguiente modelo generalizado [ecuación 1], en el cual se consideran todas las interacciones planteadas:

$$IT = \beta_1 \text{ algarrobo} + \beta_2 \text{ guar} + \beta_3 \text{ karaya} + \beta_4 \text{ algarrobo} * \text{ guar} + \beta_5 \text{ algarrobo} * \text{ karaya} + \beta_6 \text{ guar} * \text{ karaya} + \beta_7 \text{ algarrobo} * \text{ karaya} * \text{ guar} + \varepsilon$$

Ecuación 1.

La metodología de superficie de respuesta se utilizó para encontrar una región óptima, con un nivel de significancia de 0,05.

Se realizó dos repeticiones para los productos puros y mezclas duales, y tres para las mezclas triples. De acuerdo con el resultado encontrado, se seleccionó la mezcla más económica de las mejores combinaciones encontradas, según análisis de costo. Una vez elegida la mejor mezcla de gomas, se evaluó en tres niveles (0,3%; 0,35% y 0,4% p/p) en la mezcla de helado duro, comparándose contra un testigo que contenía estabilizante comercial al 0,3%. En todos los casos, se manejó como constante un 0,05% de monodiglicéridos (emulsificante).

Elaboración de las mezclas y el helado

La formulación empleada para la mezcla de helado duro fue de 36% - 38% sólidos totales, 12% de grasa y 14% de dulzura. Las materias primas utilizadas fueron: leche líquida (3,2% grasa, 8,5% sólidos no lácteos grasos - SLNG), leche en polvo entera (26% grasa), suero en polvo, grasa vegetal (99%), azúcar y agua (10).

El testigo contenía 0,35% de un estabilizante comercial (goma guar, carragenina, alginato de sodio y dextrosa, en porcentajes desconocidos), los tratamientos 1, 2 y 3 tenían la mezcla de estabilizantes elegida (50% de goma algarrobo + 50% de goma guar + 0,05% de emulsificante) en los porcentajes de 0,30%; 0,35% y 0,4%, respectivamente; estos niveles de uso aplican dentro de los que comercialmente recomiendan los proveedores. Cuatro réplicas fueron elaboradas, para un total de 16 mezclas.

Cada uno de los tratamientos definidos fueron elaborados de la misma manera y en la siguiente forma: Las mezclas de helado fueron elaboradas en lotes de 40 Kg, calentando a 35°C los ingredientes líquidos y luego adicionando todos los sólidos (Leche en polvo entera - LPE, suero, azúcar y estabilizantes). Las mezclas fueron elaboradas y pasteurizadas a 72°C, por 30 min, en un pasteurizador de retención, homogeneizadas a 1500 psi y 72°C, para luego ser enfriadas a 4°C mediante una Cortina de Enfriamiento, temperatura que se mantuvo en una

cava de refrigeración por 24 horas como tiempo para la maduración de la mezcla.

Estas mezclas de helado fueron saborizadas con esencia de vainilla al 0,1%, y se procedió a batirlas en una batidora por baches, controlando el sobreabundamiento en 90%; éste fue calculado con base en el peso (9, 11). Mediante un termómetro digital calibrado se midió la temperatura de extrusión del helado; se envasó en recipientes plásticos con capacidad de 1 litro. El helado fue almacenado entre -25°C a -20°C en una cava de congelación.

Análisis de las mezclas y del helado

Para el análisis fisicoquímico de las mezclas, se realizó las siguientes pruebas:

Grasa: Según método Pensilvania (12).

Sólidos totales: Se utilizó un analizador de humedad MB 45 OHAUS.

pH: Según método oficial de análisis 981.12 (13). Se usó un potenciómetro Metrohm 744.

Acidez titulable: Según método oficial de análisis 947.05 (13). Se expresó como porcentaje de ácido láctico.

Viscosidad: Se utilizó un viscosímetro Brookfield DV-1+. Se determinó para cada mezcla, a las 24 horas de maduración, a una temperatura de 20°C. El resultado se presentó en centipoises (cP).

Comportamiento reológico: Todas las determinaciones de flujo fueron llevadas a cabo en un reómetro R/S plus en su modo rotacional, utilizando como geometría cilindros concéntricos. Las mediciones fueron realizadas a 4°C. Las muestras fueron expuestas a un ciclo de deformación, con un tramo ascendente de 0 a 100 s⁻¹ en 5 min y uno descendente a la misma deformación. Los datos de la curva ascendente fueron ajustados al modelo de Herschel-Bulkley (ver ecuación 2) por medio del software del R/S plus rheometer.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Ecuación 2.

Donde τ es esfuerzo cortante (de cizalla), τ_0 es esfuerzo de fluencia inicial, K es el índice de consistencia y n es el índice de fluencia.

Habilidad de batido: Se determinó el tiempo que transcurrió para que la mezcla, llegara al 90% de sobreabundamiento (1, 14).

Punto de congelación: se determinó tomando la temperatura de la mezcla, después de batida (14, 15).

Tiempo de caída de la primera gota: A través de la medición del tiempo que demora en caer la primera gota (16).

Derretimiento: Se determinó la cantidad de helado que cae en un beaker, al colocar sobre una malla estándar de 256 orificios / pulgada², en un tiempo fijo; desde el momento que cae la primera gota, hasta la hora de derretimiento, a temperatura ambiente (17, 18).

Dureza: Se trabajó con un analizador de textura TA.XT2 (Stable Micro System), utilizando un cilindro de 4 cm de diámetro, a una velocidad constante pre-ensayo, ensayo y pos-ensayo de 2 mm/s (4, 18). Se tomó cinco medidas por tratamiento durante tres tiempos (0 = primera semana, 2 y 4 meses).

Evaluación sensorial: Se realizó una prueba descriptiva por escalas, con un panel de degustación conformado por 9 jueces entrenados pertenecientes a la planta de lácteos de la Universidad Nacional de Colombia, los cuales evaluaron el sabor, el cuerpo y la textura, en tres tiempos (0 = primera semana, 2 y 4 meses) (19, 20, 21).

Los puntajes obtenidos fueron ajustados según la escala de valores presentada en la tabla 1.

Tabla 1. Puntajes para cada característica sensorial.

Característica Organoléptica	Puntaje
Textura	25
Sabor	20
Cuerpo	5
TOTAL	50

Las calificaciones emitidas por los jueces fueron sumadas y promediadas para cada característica, para su respectivo análisis e interpretación.

Para el estudio de los datos, se empleó el programa R 2.7.2 y los métodos utilizados fueron: análisis de varianza (ANOVA) de un factor (tratamiento), con un nivel de confianza del 95%, y un nivel de potencia para detectar diferencias significativas del 90%. Para dureza y sensorial, se usó análisis de varianza (ANOVA) de tres factores. Para el comportamiento reológico el tratamiento de los datos se realizó utilizando el paquete estadístico Stargraphics Centurión XV profesional. La metodología de superficies de respuesta se usó para encontrar una región óptima, con un nivel de significancia de 0,05%.

RESULTADOS

Resultados prueba reológica. Primera Etapa

Para estudiar el comportamiento reológico de las diferentes muestras (gomas y mezclas) fue neces-

sario obtener las curvas de flujo para cada una. En la figura 1 se muestra la relación existente entre el esfuerzo y la velocidad de cizalla para las muestras. Al realizar el ajuste del modelo correspondiente, según la ecuación (2), se obtiene para las muestras un coeficiente de correlación superior a 0,99.

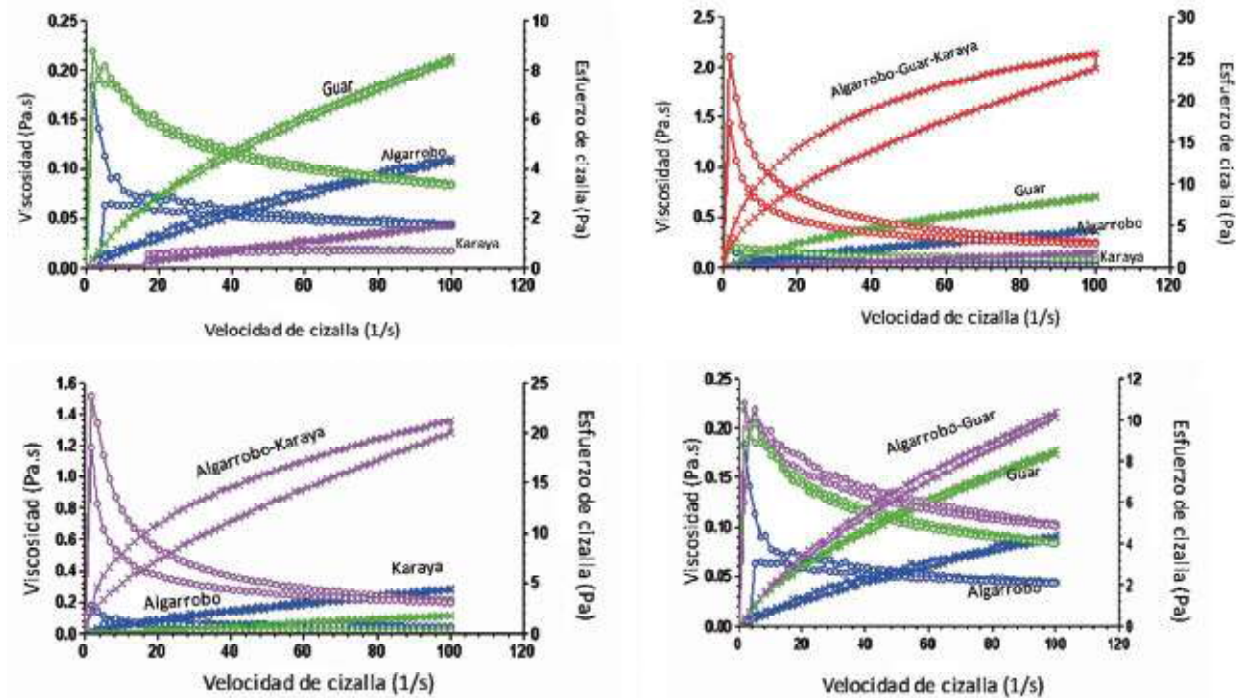


Figura 1. Curvas de flujo y de viscosidad para las muestras del diseño de mezclas.

Selección de la combinación de hidrocoloides

En la figura 2 se muestra la superficie de respuesta del modelo planteado.

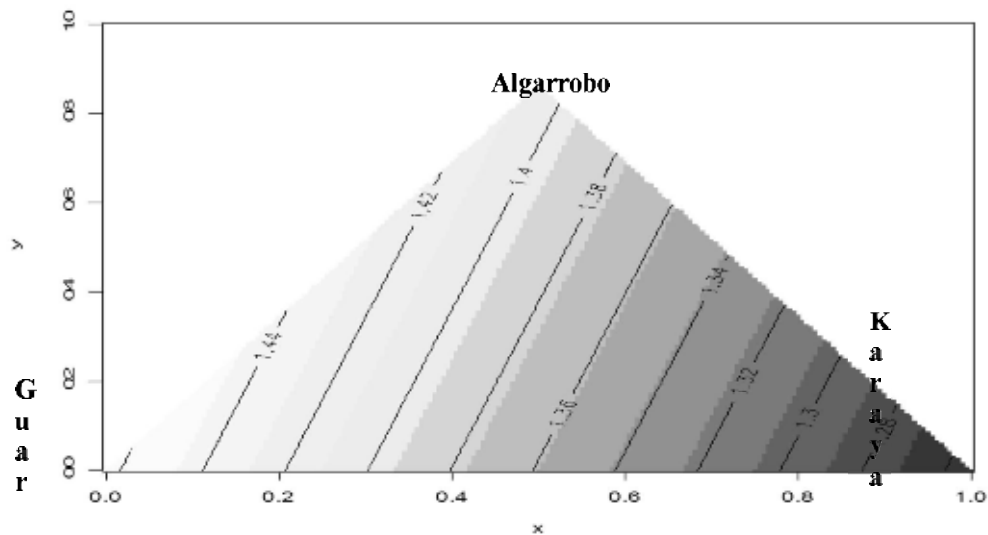


Figura 2. Superficie de respuesta para la tixotropía del sistema mezcla de helado duro usando las diferentes combinaciones de las gomas.

En la Tabla 2 se presenta las predicciones e intervalos de confianza para las diferentes muestras evaluadas.

Tabla 2. Predicciones e intervalos de confianza al 95%.

Algarrobo	Guar	Karaya	Predichos	L. Inferior	L. Superior
1	0	0	1,408	1,102	1,713
1	0	0	1,408	1,102	1,713
0	1	0	1,464	1,158	1,769
0	1	0	1,464	1,158	1,769
0	0	1	1,254	0,948	1,559
0	0	1	1,254	0,948	1,559
0,5	0,5	0	1,436	1,242	1,629
0,5	0,5	0	1,436	1,242	1,629
0,5	0	0,5	1,331	1,137	1,524
0,5	0	0,5	1,331	1,137	1,524
0	0,5	0,5	1,359	1,165	1,552
0	0,5	0,5	1,359	1,165	1,552
0,33	0,33	0,33	1,361	1,226	1,497
0,33	0,33	0,33	1,361	1,226	1,497
0,33	0,33	0,33	1,361	1,226	1,497

Cuando sólo son considerados los efectos por pares e individuales, se origina los modelos II y III, los que se representan por medio de las ecuaciones 3 y 4.

$$I_{(\eta_{40/\eta_{100}})ida} = \beta_1 \text{ Algarrobo} + \beta_2 \text{ Guar} + \beta_3 \text{ Karaya} + \beta_4 \text{ Algarrobo*Guar} + \beta_5 \text{ Algarrobo*Karaya} + \beta_6 \text{ Guar*Karaya} + \epsilon$$

Ecuación 3.

En este modelo se considera los efectos individuales y por pares. En la Tabla 3 se presenta las estimaciones para el coeficiente de consistencia.

Tabla 3. Coeficientes estimados de superficie de respuesta, modelo I.

Hidrocoloide	Valor +/- DS
Algarrobo	8,307 +/- 1,64e-05
Guar	8,997 +/- 8,56e-06
Karaya	6,896 +/- 7,10e-05
Algarrobo:Guar	0,457 +/- 0,6588
Algarrobo:Karaya	2,052 +/- 0,0704
Guar:Karaya	1,341 +/- 0,2127

Se corre un nuevo modelo, sin considerar las interacciones no significativas:

$$I_{(\eta_{40/\eta_{100}})ida} = \beta_1 \text{ Algarrobo} + \beta_2 \text{ Guar} + \beta_3 \text{ Karaya} + \epsilon$$

Ecuación 4.

Las estimaciones de coeficientes de consistencia obtenidos con el segundo modelo son presentadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes estimados de superficie de respuesta, modelo II.

Hidrocoloide	Valor +/- DS
Algarrobo	10,044 +/- 3,42e-07
Guar	10,443 +/- 2,24e-07
Karaya	8,945 +/- 1,18e-06

* Se observa que: $\beta_2 > \beta_1 > \beta_3$.

Resultados para las mezclas de helado usando el estabilizante a tres niveles. Segunda etapa

Los valores medios con intervalos LDS (95%) de la acidez, pH, grasa y sólidos totales del control y los tratamientos se presentan en la Figura 3.

Para el pH y la acidez, el ANOVA no reportó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos; estos variaron entre 6,83 +/- 0,04 y 0,13 +/- 0,01, respectivamente.

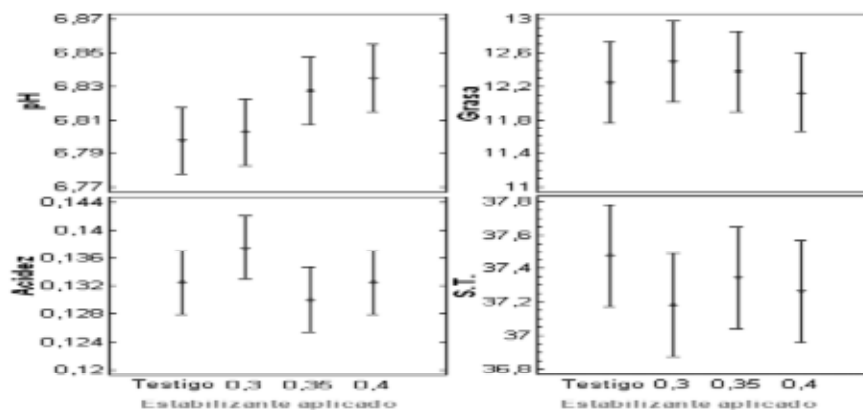


Figura 3. Comportamiento de las características fisicoquímicas de acidez, pH, grasa y sólidos totales para las mezclas de helado con los tres niveles de estabilizante usado (0,3, 0,35 y 0,4%) y el testigo con un nivel de 0,3%.

Análisis de Viscosidad

En la Figura 4 se presenta los valores medios con intervalos LDS (95%) de la viscosidad de los diferentes tratamientos.



Figura 4. Valores medios con intervalos LSD (95%) de la viscosidad de las mezclas con diferentes niveles de estabilizantes.

Reología de la mezcla

En la Figura 5 se presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) del índice de tixotropía y la viscosidad de los diferentes tratamientos evaluados.

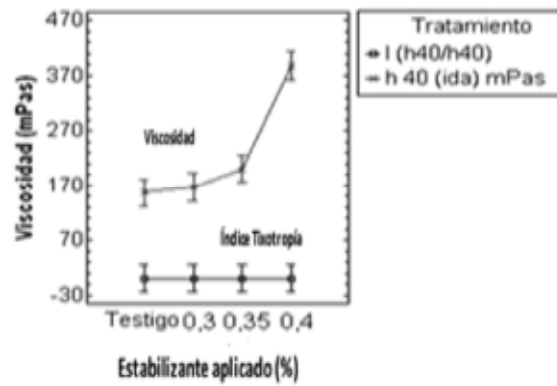


Figura 5. Valores medios con intervalos LSD (95%) del índice de tixotropía y la viscosidad de las mezclas con diferentes niveles de estabilizantes.

Análisis del helado

En la Figura 6 se presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) para las variables caída de la primera gota, punto de congelación, derretimiento y habilidad de batido de las mezclas con diferentes niveles de estabilizantes.

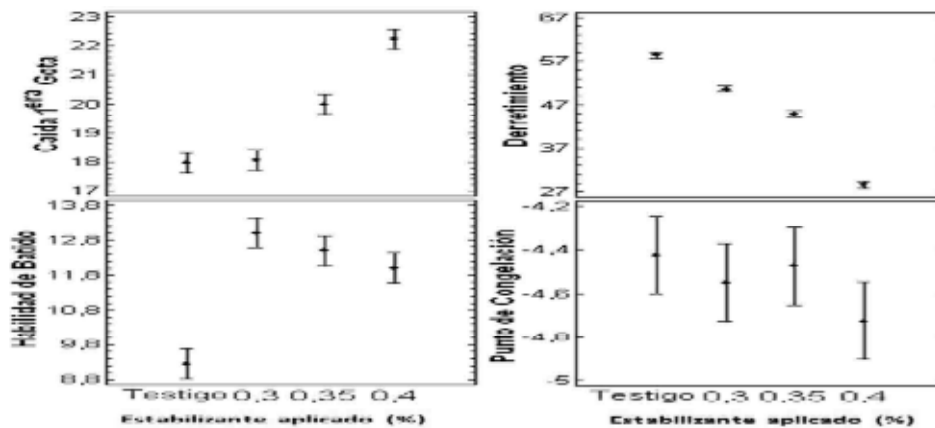


Figura 6. Valores medios con intervalos LSD (95%) para caída de la primera gota, punto de congelación, derretimiento y habilidad de batido de las mezclas con diferentes niveles de estabilizantes.

Dureza

En la Figura 7 se presenta los valores medios e intervalos LSD (95%) para la dureza por tratamiento en el tiempo. Se observa cómo el tiempo ($p = 0,0057$) y el tratamiento ($p = 0,000$) son significativos ($p < 0,05$); esto, indica que la dureza cambia en el período de almacenamiento y entre tratamientos; la interacción tiempo*tratamiento no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$).

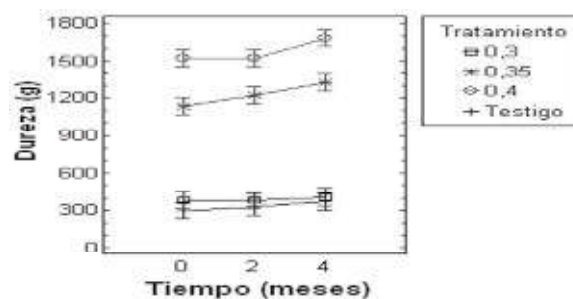


Figura 7. Comportamiento de la dureza medida en el tiempo (en meses), de los diversos tratamientos de helado (0,3, 0,35, 0,4 % de estabilizante y testigo), intervalos LSD (95%).

Análisis Sensorial

Textura

En la Figura 8 se presenta los valores medios e intervalos LSD (95%) para la textura por parámetros de los diferentes tratamientos aplicados en el helado.

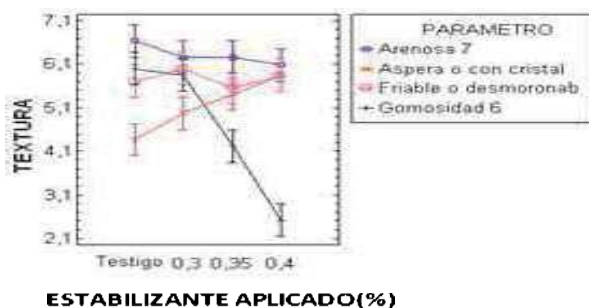


Figura 8. Valores medios con intervalos LSD (95%) para textura de los diferentes tratamientos aplicados por parámetro.

En la Figura 9 se presenta los valores medios e intervalos LSD (95%) para la textura en el tiempo, con diferentes niveles de hidrocoloide aplicados en el helado.

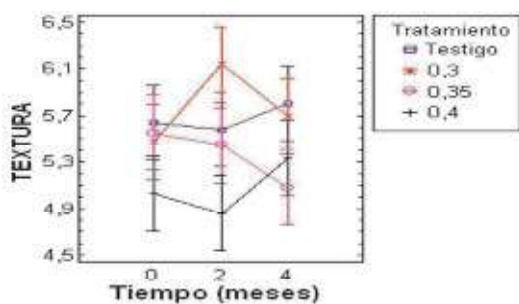


Figura 9. Valores medios con intervalos LSD (95%) para textura en el tiempo con diferentes niveles de hidrocoloide aplicados en el helado.

Cuerpo

En la Figura 10 se presenta los valores medios e intervalos LSD (95%) para el parámetro cuerpo de los diferentes niveles de hidrocoloide aplicados en el helado.

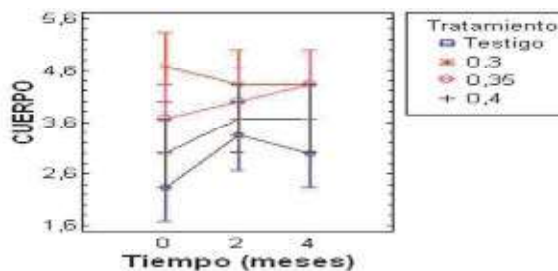


Figura 10. Valores medios con intervalos LSD (95%) para cuerpo en el tiempo con los diferentes niveles de hidrocoloide aplicados en el helado.

Sabor

En la Figura 11 se presenta los valores medios e intervalos LSD (95%) para el sabor en el tiempo con los diferentes niveles de hidrocoloide aplicados en el helado.

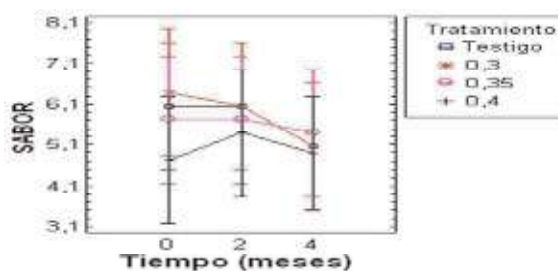


Figura 11. Valores medios con intervalos LSD (95%) para sabor en el tiempo con los diferentes niveles de hidrocoloide aplicados en el helado.

En la Figura 12 se presenta los valores medios e intervalos LSD (95%) de sabor por parámetro de los diferentes tratamientos.



Figura 12. Valores medios con intervalos LSD (95%) para parámetros de cantidad y calidad de sabor con los diferentes niveles de estabilizante aplicado en el helado.

DISCUSIÓN

Resultados prueba reológica. Primera Etapa

En las curvas de flujo obtenidas (ver Figura 1) se muestra un comportamiento de flujo pseudoplástico, consistente con los índices de fluencia obtenidos con valores de $n \leq 1$.

Selección de la combinación de hidrocoloídes

En la Figura 2 se muestra la superficie de respuesta del modelo planteado. Al revisar los resultados y buscando valores altos para índices de tixotropía y costos bajos, se definió que la mejor mezcla a utilizar es goma guar con algarrobo (50:50), que aunque presenta un índice de tixotropía (IT) levemente menor que el de la goma guar, su costo es sensiblemente menor. Cabe anotar que se busca un máximo IT en mezcla, no como agente individual. La tixotropía es una característica reológica que ayuda a medir qué tanto demora una estructura en recuperarse, cuando es sometida a un esfuerzo, por lo que se considera que es la variable que expresa el mejor comportamiento del hidrocoloide. Este índice se obtiene de la relación de las viscosidades de ida y regreso $\{\eta_0$ (curva inicial-ida) / η_0 (curva final-regreso) $\}$.

Resultados para las mezclas de helado usando el estabilizante a tres niveles. Segunda etapa

El contenido de SLNG está relacionado con el pH de la mezcla; cuando la porción de SLNG incrementa, la acidez normalmente se eleva y el pH disminuye (11, 22). Una alta acidez es indeseable, ya que contribuye a obtener una viscosidad excesiva de la mezcla, una velocidad de batido baja, afecta el sabor y genera una mezcla menos estable.

Para el porcentaje de grasa y los sólidos totales evaluados en las mezclas de helado, el ANOVA no reportó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos y el testigo. El valor promedio fue de 12,31 +/- 0,57, para la grasa y 37,32 +/- 0,37 para los sólidos totales, concordante con la formulación definida. La grasa en los helados da una sensación más pesada al paladar y, también, reduce el tamaño de los cristales de hielo, mientras que los sólidos totales tienen que ver con el tamaño de los cristales de hielo, a menor cantidad de sólidos totales, mayor tamaño de cristales (2, 11).

Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros analizados (pH, acidez, S.T y grasa)

muestran valores normales para mezclas de helado indicando un adecuado comportamiento de estas, se evidencia a su vez que la aplicación del hidrocoloide en los diferentes niveles propuestos no presentó influencia en los resultados de los parámetros físico-químicos evaluados.

Análisis de Viscosidad

Las mezclas elaboradas con el testigo presentaron valores de viscosidad dentro de lo esperado para una mezcla de helado duro. Los valores de viscosidad aparente, a 20°C, fluctúan entre 50 - 300 cP (18). La mezcla que se elaboró con 0,4% del hidrocoloide, presentó diferencia significativa ($p < 0,05$), mostrando la viscosidad más elevada. Esto se debe al nivel de incorporación del hidrocoloide en las mezclas, debido a la capacidad de hidratación de este y a su capacidad de poder establecer puentes de hidrógeno y ligar agua (5).

El tratamiento correspondiente a un nivel de hidrocoloide de 0,4% presentó diferencia estadística con los otros tratamientos (0,3%, 0,35% y testigo), indicando que al utilizar esta mezcla, los tiempos de maduración pueden ser menores, por su alta capacidad de hidratación. La goma algarrobo ofrece una viscosidad elevada a bajas concentraciones, por lo que es recomendada su inclusión para obtener ciertas características funcionales en el helado, como mejor cremosidad y resistencia al derretimiento (14), factor que puede ser diferenciador al comparar con el estabilizante comercial. Cuando la viscosidad aparente aumenta, la resistencia a la fusión y la suavidad del cuerpo aumentan, pero el batido disminuye (22, 14); esto concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que con el incremento de viscosidad el porcentaje de derretimiento se disminuyó, al igual que la habilidad de batido.

Reología de la mezcla

No se encontró diferencias significativas para la viscosidad entre tratamientos ($p < 0,05$), pero sí para el índice de tixotropía; parámetro que da cuenta la capacidad de recuperación del fluido al dejarlo en reposo, después de haberse sometido a un esfuerzo de cizalla. Para el tratamiento T4 sí existe diferencia significativa con un $p < 0,05$, en correlación con los otros tratamientos, a medida que se incrementó el nivel de estabilizante se observó un mejor comportamiento en la mezcla en cuanto a su tixotropía, por darle éste una mayor estabilidad y por poseer una mejor estructura frente a tratamientos mecánicos (8, 9).

Los resultados obtenidos indican que la naturaleza reológica del fluido en estudio tiene un comportamiento pseudoplástico (5, 17, 18, 23), debido a los índices de tixotropía con valores muy cercanos a 1,0 y evidenciado en la disminución de la viscosidad a medida que aumenta el esfuerzo de cizalla sobre el fluido.

Análisis del helado

En cuanto a la característica caída de 1ra gota, se presentó diferencias significativas entre el grupo conformado por el testigo y el tratamiento con 0,3% de mezcla de gomas y los demás tratamientos, observándose que a medida que se incrementa la concentración del estabilizante el tiempo se retarda. Para la habilidad de batido el ANOVA reporta diferencias significativas entre el control y los tratamientos con mezcla de gomas que conformaron un grupo. Se evidencia cómo el testigo presenta la mejor habilidad al batido al demorarse menos tiempo (9,3 +/- 0,5 min.) para lograr el porcentaje de sobreabundamiento deseado, mientras que los diferentes tratamientos fueron muy similares entre sí (12,5 +/- 0,6 min.). En otros estudios se reportan valores entre 16 a 19 minutos para helados con composición similar, utilizando mezcla de goma guar con carragenina (22, 24).

En general, se evidencia que cuando aumenta la viscosidad la resistencia a la fusión y la suavidad del helado aumentan, pero la habilidad de batido disminuye (11, 25). Este tiempo de batido también se ve influenciado por la capacidad de retención de aire, temperaturas de tratamientos térmicos, homogenización y tiempos de maduración (1, 11).

Para el punto de congelamiento el ANOVA no reporta diferencias significativas ($p > 0,5$) en los 4 tratamientos. Se encontró un valor promedio de $-4,55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,13$. Estudios recientes reportan valores entre $-5,4$ a $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en helados con composición similar (3, 14). El punto de congelación del helado es dependiente del tipo y contenido de constituyentes de la mezcla, específicamente de los sólidos solubles y, dentro de éstos, los de mayor relevancia son los azúcares. Los cambios en este parámetro pueden alterar la velocidad de congelación del helado, a una temperatura de almacenamiento específica (11).

Para el tiempo de caída de la primera gota y el porcentaje de derretimiento, el ANOVA reporta diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Se evidencia que a medida que se aumenta el nivel de estabilizante se retarda el tiempo de caída

de la primera gota, y está directamente correlacionado con un menor porcentaje de derretimiento. Se considera que los helados deben presentar tiempos de caída de la primera gota superiores a 15 min (2, 25), lo que coincide con los resultados obtenidos, donde tanto el testigo (18 min +/- 0,5), como los diferentes tratamientos (18 min +/- 0,4; 20 min +/- 0,4 y 22,2 min +/- 0,5), superan este tiempo.

Los tiempos de derretimiento son dependientes de la formulación del helado y especialmente de la naturaleza del estabilizante. Los tratamientos fueron más resistentes al derretimiento frente al testigo, lo que evidenció un mejor comportamiento de la mezcla elegida. Se puede observar que a medida que aumenta el nivel de estabilizante también aumenta la viscosidad y disminuye el porcentaje de derretimiento (3, 9, 24, 26).

El nivel de 0,4% fue el que mostró un mejor derretimiento (28,6% +/- 0,6), incluso muy por debajo de lo esperado, mientras que el control estuvo por encima de 58% +/- 1,2. Se espera que el porcentaje de derretimiento no supere un 35%, considerando este rango aceptable en helados (27). La sequedad y la dureza en el helado son debidas principalmente a la aglomeración de los glóbulos de grasa, lo cual se traduce en un derretimiento más lento debido a su mayor resistencia al flujo (28).

Dureza

Los tratamientos testigo y 0,30% son los de menor dureza, y a la vez no presentaron diferencias significativas entre ellos en todo el período de almacenamiento. El tratamiento con 0,4% de mezcla de gomas presentó el mayor valor de dureza, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos; el último período de almacenamiento presentó el mayor valor de dureza para este tratamiento. En algunos casos la composición del producto y un alto volumen de sólidos conducen a una gran resistencia para aplicar una fuerza (18, 29, 30). Las propiedades reológicas de la mezcla también tienen un gran efecto en la dureza del helado; las mezclas con viscosidades más altas incrementan la resistencia a la fuerza aplicada (9, 31). Cuando el sobreabundamiento es alto la dureza del helado disminuye, debido a la menor resistencia que ofrece por el mayor contenido de celdas de aire dentro de la estructura.

En los tratamientos con 0,35% y 0,4% de mezcla de gomas se halló que para el cuarto mes hubo una disminución del 0,15% con respecto al volumen inicial en el helado en presentaciones de un litro, lo que

explica el aumento en la dureza por precipitación de ciertos sólidos solubles al no retener celdas de aire.

Análisis Sensorial

Textura

Respecto al testigo, el parámetro significativamente diferente es el áspero o con cristal, lo mismo ocurre con el tratamiento 0,3%. Para los tratamientos 0,35% y 0,40% el factor diferente es la gomosidad.

La arenosidad y la friabilidad tienden a ser normales en los 4 tratamientos evaluados, sin existir diferencias estadísticas entre ellos. El parámetro áspera o con cristal presenta diferencias significativas entre el testigo y el 0,35% y 0,4%. Esto es consecuencia del efecto del tipo de hidrocoloide (composición en ingredientes diferente al testigo y la mezcla seleccionada) y del nivel utilizado en el testigo; se evidenció menor estabilidad de la estructura, relacionada con una baja viscosidad y un alto porcentaje de derretimiento; fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento pueden generar este defecto (3). Paralelamente, los estabilizantes promueven el desarrollo de viscosidad en la fase acuosa y al control del tamaño de los cristales de hielo, mejorando la textura del helado (18). El tratamiento con 0,4% es moderadamente gomoso, siendo significativamente diferente a los demás tratamientos; esto es consecuencia de un mayor porcentaje de incorporación del estabilizante y es consistente con los mayores valores de viscosidad obtenidos. Junto con los cristales de hielo, el tamaño y distribución de las celdas de aire juegan un rol importante en la calidad del helado, en lo que tiene que ver con el aspecto sensorial de cremosidad (32). Un tamaño más pequeño de las burbujas de aire, produce una sensación más cremosa. Hay una fuerte correlación entre la viscosidad de la mezcla y el tamaño de las burbujas de aire (33). La viscosidad aumenta cuando disminuye la temperatura del producto y, simultáneamente, disminuye el tamaño de las células de aire (34, 35).

Al revisar los resultados (ver figura 9), vemos cómo en el tiempo 0 no hay diferencias significativas entre los cuatro tratamientos. En el mes 2 el tratamiento 0,3% es significativamente diferente al tratamiento 0,4%; en el mes 4 hay diferencias significativas entre los tratamientos testigo y 0,35%. Los cuatro tratamientos no presentan diferencias significativas en el período de 4 meses. Los dife-

rentes cambios sufridos por el helado a través del tiempo están directamente correlacionados con las condiciones de almacenamiento y las características aportadas por el nivel de estabilizante (36).

Cuerpo

No se encontró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos en el período de 4 meses. En el tiempo 0 el testigo es significativamente diferente al tratamiento 0,3%; en el segundo y cuarto mes no hay diferencias estadísticas entre los tratamientos. Los valores arrojados por el testigo fueron más bajos, tendiendo a ser más débil, lo cual es reflejo de las características aportadas por el hidrocoloide a nivel de viscosidad (25).

Sabor

Frente a la variable sabor no se presentan diferencias significativas respecto a los cuatro tratamientos y en el tiempo (ver figura 11).

Frente a la cantidad en términos de sabor, no se presentan diferencias significativas respecto a los cuatro tratamientos y en el tiempo (ver figura 12).

En el parámetro cualidad, el tratamiento 0,4% presentó diferencia significativa comparada con el testigo y el 0,3%. La percepción de la cualidad del sabor se va perdiendo en el tiempo, estando relacionada con los cambios en la estructura del helado, al desarrollo de cristales de hielo, pérdida de aire y encogimiento durante el almacenamiento (3, 18).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para índice de tixotropía en las diferentes combinaciones propuestas con goma karaya fueron muy bajos, por lo que se declinó el uso de esta, dado que la capacidad de recuperación de la estructura ante esfuerzos aplicados es muy lenta.

Los resultados obtenidos evidencian que la mezcla seleccionada (50% de goma guar y 50% de goma de algarrobo) favorece la disminución de los tiempos de maduración al aplicar los mismos niveles del estabilizante comercial. Los niveles evaluados logran ser más bajos frente a los utilizados actualmente por las grandes industrias, que llegan a valores de 0,5%.

Al nivel de 0,4% de estabilizante se obtienen las mayores viscosidades, presentando mejores características en relación a las cualidades de porcentaje

de derretimiento y dureza frente al estabilizante comercial, cumpliendo así con los parámetros que debe tener un helado para transportarse y soportar fluctuaciones de temperatura.

La mezcla de hidrocoloides seleccionada (50% de goma guar y 50% de goma de algarrobo), en sus diferentes niveles de adición, presentó muy buen comportamiento en los diferentes parámetros de calidad evaluados en el helado de crema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adapa S, Dingeldein H, Schmidt KA, Herald TJ. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. *J Dairy Sci.* 2000 Oct; 83 (10): 2224-2229.
- Goff HD, Freslon B, Sahagian ME, Hauber TD, Stone AP, Stanley DW. Structural development in ice cream dynamic rheological measurements. *J Texture Studies.* 1995; 26 (5): 517-536.
- Bolliger S, Goff HD, Sharp BW. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. *Int Dairy Journal.* 2000; 10 (4): 303-309.
- De Hombre R, Banguela S, Otero M, Rodríguez T. Determinación de la viscosidad de las mezclas para crema helada: Comparación de Métodos. *Alimentaria*, 1996; 278 (18): 117-118.
- Dickinson E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloid.* 2009; 23 (3): 1473-1482.
- Minhas KS, Sidhu JS, Mudahar GS, Singh AK. Effect of different concentrations of stabilizers and ageing times on the viscosity of plain ice cream mix made from buffalo milk. *J Food Sci Technol.* 2000; 37 (6): 602-608.
- Camacho MM, Martínez NN, Chiralt A. Rheological characterization of experimental dairy creams formulated with locust bean gum (LBG) and carrageenan combinations. *Int Dairy Journal.* 2005; 15 (3): 243-248.
- Grander C, Langerdorff V, Renouf N, Barey P, Cansell M. Short Communication: Impact of formulation on ice cream microstructures: an oscillation thermo-rheometry study. *J Dairy Sci.* 2004; 87 (4): 810-812.
- Muse MR, Hartel RW. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *J Dairy Sci.* 2004; 87 (1): 1-10.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC1239. Helados y Mezclas para Helados. Bogotá: ICONTEC; 1992.
- Patel MR, Baer RJ, Acharya MR. Increasing the Protein Content of Ice Cream. *J Dairy Sci.* 2006 May; 89 (15): 1400-1406.
- Corrales L, Higuera V, Sepúlveda U. La leche, su procesamiento y control. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2005. 324 p.
- Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the AOAC. 14th Ed. Arlington, VA USA. 1984. 1141 p.
- Marshall RT, Goff HD, Hartel RW. Ice Cream. 6th ed. New York, USA: Plenum; 2003. 371 p.
- Alvarez VB, Wolters CL, Vodovotz Y, Ji T. Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *J Dairy Sci.* 2005; 88 (13): 862-871.
- Yanes M, Duran L, Costell E. Effect of hydrocolloid type and concentration on flow behaviour and sensory properties of milk beverages model systems. *Food Hydrocolloid*, 2002; 16 (6): 605-611.
- Grander C, Leger A, Barey P, Langerdorff V, Cansell M. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. *Int Dairy Journal.* 2005 Mar; 15 (2): 255-262.
- Aime DB, Arntfield SD, Malcolmson LJ, Ryland D. Textural Analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food Research Int.* 2001; 34 (2-3): 237-246.
- Carpenter R. Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de los alimentos. Zaragoza, España: Ed. Acribia; 2002.
- Echavarria, J e M. Gómez. Elaboración de un helado de bajo aporte calórico. Medellín, Colombia: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- Damasio MH, Costell E. Análisis sensorial descriptivo: Generación de los descriptores y selección de catadores. *Rev Agroquim y Tecn Alim.* 1991; 31 (2): 1-18.
- Baer RJ, Wolkow MD, Kasperon KM. Effect of emulsifiers on the body and texture of low fat ice cream. *J Dairy Sci.* 1997; 80 (12): 3123-3132.
- Goff HD. Formation and stabilization of structure in ice cream and related products. *Curr Opin Colloid In.* 2002 Nov; 7 (5-6): 432-437.
- Davenat B. La Tecnología de los Helados y Sorbetes. *Materias Primas, Formulación y Elaboración.* 1^a Ed. España: Montagud; 1993. 90 p.
- Soukoulis C, Chandrinis I, Tzia C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with k-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *LWT-Food Sci Tech.* 2008 Dec; 41 (10): 1816-1827.
- Eisner MD, Wildmoser H, Winolhad EJ. Air cell microstructuring in a high viscous ice cream matrix. *J Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Eng. Aspects.* 2005; 263 (1-3): 390-399.
- Flores AA, Goff HD. Ice crystal size distributions in dynamically frozen model solutions and ice cream as affected by stabilizers. *J Dairy Sci.* 1999 Jul; 82 (7): 1399-1407.
- Arbuckle WS. Ice Cream. 4th ed. New York, USA: AVI Publishing; 1986. 318 p.
- Chang Y, Hartel RW. Stability of Air Cell in Ice Cream During Hardening and Storage. *J Food Eng.* 2001 Nov; 55 (1): 59-70.
- Inoue K, Ochi H, Habara K, Taketsuke M, Saito H, Ichihashi N, et al. Modeling of the of freezer conditions on the hardness of ice cream using response surface methodology. *J Dairy Sci.* 2009; 92 (12): 5834-5842.
- Faydi E, Andrieu J, Laurent P. Experimental study and modeling of the ice crystal morphology of model Standard ice cream. Part I: Direct characterization method and experimental data. *J Food Eng.* 2001; 48 (4): 283-291.
- Wildmoster H, Scheiwiller J, Windhab EJ. Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream. *Technologic.* 2004 Dec; 37 (8): 881-891.
- Chang Y, Hartel RW. Development of air cells in a batch ice cream freezer. *J Food Eng.* 2002 Nov; 55 (1): 71-78.
- Wildmoster H, Windhab EJ. Impact of flow geometry and processing parameters in ultra low temperature ice-cream extrusion on ice cream microstructure. *European Dairy Magazine* 2001; 19 (5): 26-31.
- Goff HD. 65 Year of ice cream science. *Int Dairy Journal.* 2008; 18 (7): 754-758.
- Ruger PR, Baer RJ, Kasperon KM. Effect of double homogenization and whey protein concentrate on the texture of ice cream. *J Dairy Sci.* 2002 Jul; 85 (7): 1684-1692.