

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Uso de Emulsificantes y Estabilizantes Para el Aumento de
Overrun en Helados: Una Revisión Bibliográfica**

**Emilene Alexandra Erazo Morocho
Michelle Daniela Galárraga Estrella
María José López Peña**

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título
de Ingeniera en Alimentos

Quito, 14 de diciembre de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Uso de Emulsificantes y Estabilizantes Para el Aumento de Overrun en
Helados: Una Revisión Bibliográfica**

Emilene Alexandra Erazo Morocho

Michelle Daniela Galárraga Estrella

María José López Peña

Nombre del profesor, Título académico

Javier Garrido Espinosa, master

Quito, 14 de diciembre de 2020

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Emilene Alexandra Erazo Morocho

Código: 00136747

Cédula de identidad: 1720650611

Nombres y apellidos: Michelle Daniela Galárraga Estrella

Código: 00116939

Cédula de identidad: 1716173784

Nombres y apellidos: María José López Peña

Código: 00138531

Cédula de identidad: 1726083031

Lugar y fecha: Quito, 14 de diciembre de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

En esta revisión bibliográfica se recopiló información sobre el uso de distintos ingredientes con propiedades emulsificantes y estabilizantes para el aumento de overrun en helados. Se encontró que la combinación de ambas propiedades favorece el aireamiento, debido a que los emulsionantes mantienen y promueven la estabilidad de las emulsiones y, por otro lado, los estabilizantes conservan la estructura y estabilizan a proteínas y grasas en mezclas de helado. Se analizó el uso de aditivos comúnmente utilizados en la industria como gomas y glicéridos, al igual que otros ingredientes alternativos como fibras, almidones y proteínas. En ambos casos se evidenció mayor aireamiento y estabilidad en presencia de sustancias emulsionantes y estabilizantes, a diferencia de las formulaciones con un solo aditivo. De igual forma, se observó la reducción de la tasa de fusión del producto final. En conclusión, la combinación de ambas cualidades a proporciones adecuadas tiene un efecto provechoso en el incremento del porcentaje de overrun y el punto de fusión.

Palabras clave: Emulsificantes, Estabilizantes, Overrun, Punto de fusión, Helado

ABSTRACT

In this literature review, information was collected on the use of different ingredients with emulsifying and stabilizing properties to increase overrun in ice cream. It was found that the combination of both properties favors aeration, because the emulsifiers maintain and promote the stability of the emulsions and, on the other hand, the stabilizers preserve the structure and stabilize proteins and fats in ice cream mixes. The use of additives commonly used in the industry such as gums and glycerides were analyzed, as well as other alternative ingredients such as fibers, starches, and proteins. In both cases, greater aeration and stability were evidenced in the presence of emulsifying and stabilizing substances, unlike formulations with only one of these properties. Similarly, the reduction of the melting rate of the final product was observed. In conclusion, the combination of both qualities in suitable proportions has a beneficial effect on increasing the percentage of overrun and the melting point.

Keywords: Emulsifiers, Stabilizers, Overrun, Melting Point, Ice Cream

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
BASES DE DATOS Y PAQUETE COMPUTACIONAL	13
METODOLOGÍA	14
Definición del problema	14
Búsqueda de información	14
Organización de la información	16
Análisis de la información	16
Emulsionantes.	16
Estabilizantes.	18
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Bases de datos y paquete computacional.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Número de artículos encontrados en base a palabras claves.....</i>	<i>15</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Captura de pantalla del paquete computacional Mendeley para la organización de fuentes bibliográficas</i>	<i>14</i>
--	-----------

INTRODUCCIÓN

El helado es un postre congelado que se obtiene a partir de la emulsión de proteínas y grasas (Grigio et al., 2019); en presencia de otros ingredientes como edulcorantes, agua, emulsificantes y estabilizantes que han sido sometidos a congelamiento (Abdul Razak et al., 2019). Todos los ingredientes, junto con las células de aire y cristales de hielo, tienen funcionalidades en la textura y estructura del helado (Góral et al., 2018). Este es un sistema coloidal complejo. La fase congelada se constituye de cristales de hielo, células de aire y glóbulos de grasa. La fase continua o líquida, es una solución de proteínas, azúcares sales y polisacáridos, que rodea a la fase congelada (Serdar Akin et al., 2019).

Los ingredientes aportan diferentes funcionalidades de estructura en el producto. La grasa aporta palatabilidad y textura, los sólidos no grasos aportan firmeza y textura esponjosa (Ayudiarti et al., 2020), y los azúcares aumentan el punto de congelación evitando la formación de cristales (Sharma et al., 2017). El objetivo de quienes elaboran helados es tener cristales de hielo pequeños para no perjudicar la textura y estructura final, para esto se manipulan parámetros del proceso, como: velocidad de congelación, temperatura de almacenamiento y el uso de estabilizantes y emulsionantes; los cuales funcionan como crioprotectores y evitan la separación de grasas en el sistema (Cornelia & Sanny, 2019).

Los emulsionantes controlan la estructura y estabilidad del helado. Estos, sobre todo cuando es un helado a base de leche, se adicionan debido a que existe un desordenamiento y desestabilización de los glóbulos de grasa en la fase dispersa (Hasenhuettl & Hartel, 2019). Su uso aumenta el grado de desestabilización de la grasa y la viscosidad aparente de la solución (Ilansuriyan & Shanmugam, 2018). El mecanismo de estos aditivos se basa en reducir la tensión interfacial entre la grasa y el agua para que las proteínas se desplacen de la superficie del glóbulo de grasa (Hasenhuettl & Hartel, 2019); y se produzca una mayor exposición de la superficie cristalina; ayudando a la coalescencia parcial que se desarrolla en el batido y en la

congelación, dando como resultado un helado con muy buena estabilidad (Sofian-Seng et al., 2017). Además, durante la congelación, gracias a la adición de emulsionantes, se produce la adsorción de los glóbulos de grasa, lo que permite la incorporación de células de aire más pequeñas y estables mejorando la cremosidad del producto final, a diferencia de las formulaciones sin estos aditivos donde los glóbulos de grasa no se adsorben en la interfaz aire-agua (Sofian-Seng et al., 2017). El emulsionante de helado tradicional en recetas antiguas era la yema de huevo, que actuaba de forma similar a los monoglicéridos. Actualmente, los emulsionantes más usados en la producción de helados son los mono y diglicéridos, y los ésteres de sorbitán, o una combinación de ambos (Hasenhuettl & Hartel, 2019).

El uso de estabilizantes en helados tiene como fin, lograr estabilidad entre la proteína y la grasa. Además, ayuda a conservar una textura uniforme al evitar la formación de cristales de hielo (Tekin, Sahin & Sumnu, 2017), al igual que incrementa la viscosidad aparente de la mezcla de helado, aumentando el esfuerzo de cizalla durante la congelación y promoviendo interacciones de corte entre los glóbulos de grasa (Wu et al., 2019). Los hidrocoloides más comunes para la elaboración de estabilizantes son la goma de algarroba, la goma guar y la carboximetilcelulosa (CMC) (Ilansuriyan & Shanmugam, 2018). El uso de emulsionantes y estabilizantes posee funciones beneficiosas como mejorar el batido, prevenir cambios en las temperaturas de estiramiento y principalmente, evitar la acumulación de glóbulos de grasa (Ayudiarti et al., 2020), que normalmente fluctúa entre 3% a 10% del volumen por unidad, proporcionando una textura más suave al producto final. Estos hidrocoloides influyen en los parámetros de calidad considerados durante el proceso de elaboración, sobre todo en las características de flujo, fusión y textura (Durmaz et al., 2020).

Al igual que los ingredientes, la funcionalidad del proceso es importante para el desarrollo de propiedades sensoriales del helado. El proceso empieza al batir todos los ingredientes, luego se pasteuriza, se homogeniza y finalmente se madura en congelación (Abdul

Razak et al., 2019). Durante el proceso de homogeneización se produce una emulsión estable, debido a las proteínas presentes en la mezcla (Goff, 2016), se disminuye el tamaño de partícula; permitiendo el desplazamiento parcial de la capa proteica que se absorbió en la interfaz aceite-agua (Sofian-Seng et al., 2017). En congelación se forman los elementos estructurales; si el proceso se lleva a cabo en un congelador de superficie raspada se puede inyectar aire mientras la mezcla se congela para aumentar el volumen del helado y mejorar su textura (Warren & Hartel, 2018). Por último, en la maduración se reduce el porcentaje de proteína absorbida, lo que produce una emulsión de grasa que puede coalescer parcialmente, para dar una estructura deseable (Goff, 2016). El grado apropiado de coalescencia parcial debe permanecer durante el batido hasta el congelamiento del helado (Hasenhuettl & Hartel, 2019).

Los ingredientes y el procesamiento de elaboración de helado son importantes para el desarrollo de propiedades sensoriales atractivas para el consumidor, sin embargo, esto también permite el aumento de volumen en el producto final debido a la incorporación de aire. El overrun se define como el aumento de volumen durante el proceso de batido, donde se incrementa el contenido de aire, para dar cuerpo al helado (Mohammad et al., 2017). Es un parámetro importante, ya que afecta el color, textura, estructura y el punto de fusión del producto (Kurt & Atalar, 2018). Su valor se determina en porcentaje mediante la relación entre la diferencia de volúmenes y el volumen inicial (Góral et al., 2018). El overrun se debe principalmente a la funcionalidad de las proteínas de la leche, emulsificantes y la cantidad de grasa de la mezcla. Los porcentajes de estos ingredientes están directamente relacionados con la calidad del producto (Sharma et al., 2017). Otro parámetro para considerar es el punto de fusión o derretimiento del helado el cual es directamente proporcional al aireado del helado, es decir que mayor porcentaje de overrun mayor punto de fusión (Tekin, Sahin & Sumnu, 2017). El objetivo de la presente revisión es recopilar información bibliográfica que sustente el uso de

diferentes ingredientes que actúan como emulsificantes y/o estabilizantes en helados, para el incremento del overrun, manteniendo el parámetro de calidad: resistencia al derretimiento.

BASES DE DATOS Y PAQUETE COMPUTACIONAL

Bases de datos de búsqueda y organización utilizadas en la presente revisión bibliográfica:

Tabla 1. Bases de datos y paquete computacional

Nombre	Características	Ventajas
Scopus	Base de datos para la obtención de artículos científicos.	Herramienta multidisciplinaria, disponible al acceso de literatura y ciencia, tecnología y otras disciplinas.
NCBI	Base de datos y referencias bibliográficas de Biotecnología, ciencia y salud.	Biblioteca que almacena y consta con artículos científicos referentes a biotecnología, bioquímica, biomedicina entre otros.
IOPscience	Base de datos que proporciona publicaciones científicas en todo el mundo.	Plataforma web que ofrece contenido de revistas, las cuales comprenden temas científicos, técnicos y médicos.
ELSEVIER	Editorial y base de datos de artículos, revistas y libros de medicina y literatura científica.	Gran número de revistas que apoyan el desarrollo en la práctica diaria y formación continua. Cuenta con temas desde ciencia de la salud, ciencias sociales y tecnología.
Springer Link	Base de datos y referencias bibliográficas científicas.	Consta con millones de documentos científicos desde revistas, series, protocolos, libros, entre otros.
Science Direct	Base de datos y referencias bibliográficas de ciencia física e ingeniería.	Cuenta con una gran colección de publicaciones con variedad de disciplinas, desde teóricas hasta aplicadas.
Mendeley	Administrador de referencias y red social académica.	Permite compartir y gestionar: referencias bibliográficas y búsqueda de documentos de investigación.

Fuente: Elaboración propia

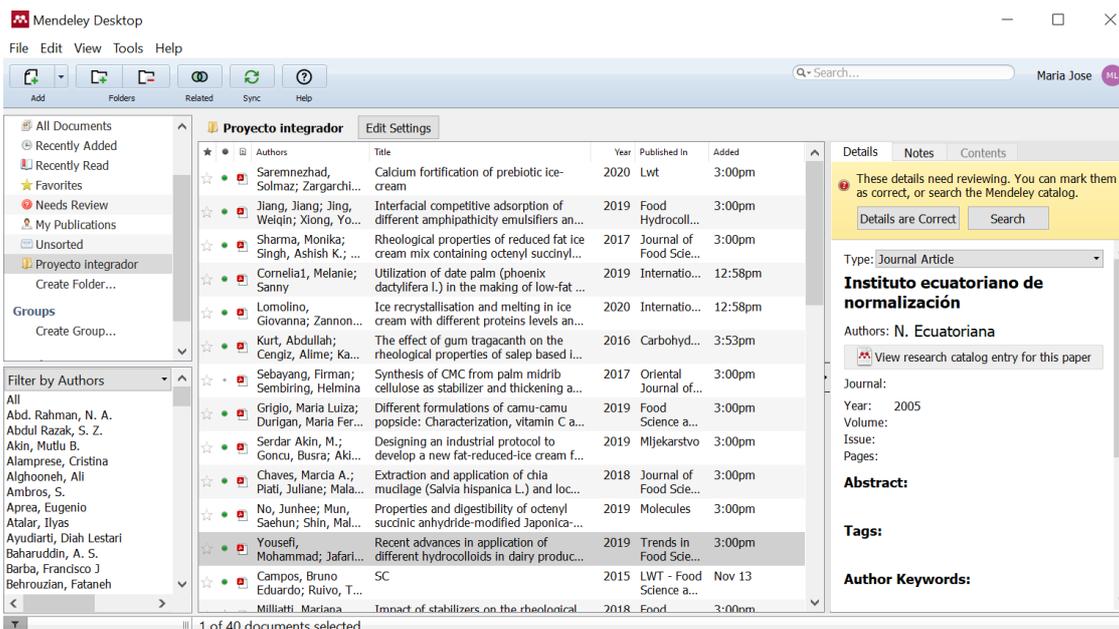


Figura 1. Captura de pantalla del paquete computacional Mendeley para la organización de fuentes bibliográficas

METODOLOGÍA

Definición del problema

En la industria de helados, el volumen del producto final está determinado por el overrun, mientras más aire exista en la mezcla, la proporción de ingredientes será menor lo cual puede traducirse a mayores ganancias. Sin embargo, el exceso de overrun aumenta la probabilidad de encogimiento. La presente revisión bibliográfica propone el uso de diferentes ingredientes con características emulsificantes y estabilizantes para aumentar el aireado y prolongar la vida útil del producto.

Búsqueda de información

Para la recopilación de información de la presente revisión bibliográfica se emplearon las bases de datos de búsqueda antes mencionadas. Los documentos seleccionados datan de 2015 hasta la actualidad referentes al uso de ingredientes y aditivos para el aumento de overrun en helados. Las palabras claves utilizadas en inglés fueron: emulsifiers, stabilizers, overrun, ice cream. Los artículos seleccionados detallan el aumento del porcentaje de overrun en mezclas de helados por la adición de agentes con propiedades estabilizantes y emulsionantes.

Tabla 2. Número de artículos encontrados en base a palabras claves

	Ecuación de búsqueda	Resultados
Scopus	Emulsifiers Ice Cream	44
	Stabilizers Ice Cream	67
	Emulsifiers Overrun	18
	Stabilizers Overrun	32
NCBI	Emulsifiers Ice Cream	247
	Stabilizers Ice Cream	140
	Emulsifiers Overrun	16
	Stabilizers Overrun	23
IOPscience	Emulsifiers Ice Cream	4
	Stabilizers Ice Cream	8
	Emulsifiers Overrun	1
	Stabilizers Overrun	4
ELSEVIER	Emulsifiers Ice Cream	1490
	Stabilizers Ice Cream	700
	Emulsifiers Overrun	167
	Stabilizers Overrun	108
Springer Link	Emulsifiers Ice Cream	497
	Stabilizers Ice Cream	528
	Emulsifiers Overrun	62
	Stabilizers Overrun	118
Science Direct	Emulsifiers Ice Cream	2333
	Stabilizers Ice Cream	1216
	Emulsifiers Overrun	271
	Stabilizers Overrun	188
TOTAL		8282

Fuente: Elaboración propia

Organización de la información

Se recopiló un total de 8282 artículos, de estos, 40 fueron seleccionados manualmente para su análisis direccionado al objetivo que esta revisión tiene. Se buscó información basada en el uso de aditivos para el incremento de overrun en helados. Entre los estabilizantes y emulsionantes recopilados en bibliografía, 8 señalan el uso de emulsionantes y 34 de estabilizantes. En todos se observó un incremento en el porcentaje de aireación.

Análisis de la información

Existe una gran variedad de ingredientes con capacidades emulsionantes y estabilizantes que, independientemente del proceso y maquinaria empleada, permiten el aumento de overrun en mezclas de helados (Durmaz et al., 2020). El uso de aditivos comerciales con este propósito se presenta en grandes industrias heladeras, sin embargo, también existen ingredientes que por sus características estructurales pueden implementarse con el mismo propósito al igual que promueven la tendencia de etiquetas limpias (Loffredi et al., 2020). Por otro lado, el aumento de volumen es favorable cuando otros parámetros de calidad no se ven afectados como el punto de fusión; el cual está determinado por una serie de factores como: sólidos totales, tamaño de cristal, tamaño de partícula y cantidad de grasa (Kurt & Atalar, 2018), lo cuales se relacionan directamente a la resistencia al colapso (Tekin, Sahin & Sumnu, 2017). En general depende de la composición de la mezcla. En este proceso el calor se transfiere a una velocidad gobernada por los elementos microestructurales. El aire que se añade a la mezcla es importante, puesto que este actúa como aislante y disminuye la velocidad de fusión (Warren & Hartel, 2018).

Emulsionantes.

Los emulsionantes son ingredientes alimenticios que mantienen y promueven la estabilidad de emulsiones, reduciendo la tensión superficial en la interfaz aceite-agua

(Hasenhuettl & Hartel, 2019). A pesar de que no existe una relación significativa entre la adición de emulsificantes y el overrun en helado, estos influyen en la estructura del producto, debido a la desestabilización de la grasa (Loffredi et al., 2020) y evitan que las gotas de emulsión se fusionen y floculen (Hasenhuettl & Hartel, 2019), al igual que controlan la liberación de agua, para evitar que se difunda en la fase continua (Warren & Hartel, 2018). Esto se logra en el proceso de homogeneización, en esta etapa se adsorben las gotas de grasa recién formadas (Hasenhuettl & Hartel, 2019). Los emulsionantes actúan sobre el grado de coalescencia de las gotas de grasa y proporcionan rigidez mecánica a la mezcla aireada, a través de la formación de una red de burbujas que se percolan (Loffredi et al., 2020). Dando como resultado mejores propiedades organolépticas, además de evitar drenaje y sinéresis del producto durante su vida útil (Sofian-Seng et al., 2017).

La adición de lecitina de soya en una nano-emulsión de caseinato de sodio tiene efecto positivo en la estabilidad de las emulsiones al presentar mayor resistencia al derretimiento. Siendo su efecto directamente proporcional a su concentración (Mohammed et al., 2020). El aumento del punto de fusión se debe a que las células de aire interactúan con los aglomerados de grasa, ralentiza la velocidad y proporcionan resistencia al colapso. Sin embargo, para obtener un alto porcentaje de overrun, la cantidad de emulsionante debe ser superior a la cantidad de grasa de la formulación (Warren & Hartel, 2018); ya que estos, en conjunto, se encargan de formar una red fuerte (Tekin, Sahin & Sumnu, 2017).

La aplicación de emulsionantes y estabilizantes tienen efectos positivos en el porcentaje del overrun de helado, al igual que en la tasa de derretimiento (El-Shafei, 2020), (Javidi et al., 2016).

Estabilizantes.

Los estabilizantes tienen como función mantener la estructura uniforme del helado y estabilizar las proteínas y grasas que forman parte de la composición. Además de evitar la formación de cristales de hielo a temperatura de almacenamiento, reducir la velocidad de fusión y aumentar la incorporación de aire (Góral et al., 2018), (Kurt & Atalar, 2018), (Ilansuriyan & Shanmugam, 2018).

Hidrocoloides.

Los hidrocoloides son estabilizantes y parte de la mezcla de estabilizantes comerciales, más usados para la elaboración de helados. Se dividen en dos grandes grupos: polisacáridos y proteínas. Pueden ser de origen vegetal como la goma de algarroba, tragacanto y goma arábiga; o de origen animal como la gelatina; de las harinas de semillas como la goma guar, de extractos de algas marinas como los alginatos y carrageninas, entre otros. También existen estabilizantes obtenidos como producto de fermentación como la goma xanthan (Yousefi & Jafari, 2019), (Hasenhuettl & Hartel, 2019), (Ilansuriyan & Shanmugam, 2018), (Góral et al., 2018).

Polisacáridos.

Dentro de los polisacáridos, se encuentran los de cadena ramificada como los almidones y dextrano, y los de cadena lineal como la celulosa y alginatos, siendo estos los más usados. La carboximetilcelulosa (CMC) se sintetiza en laboratorios y deriva de la celulosa, este ayuda a controlar la movilidad del agua y textura del helado para estabilizar la mezcla frente a choques térmicos, además, presenta buenos resultados en cuanto al aumento de overrun y disminución de la tasa de derretimiento (Cornelia & Sanny, 2019), (Abdul Razak et al., 2019), (Parnanto et al., 2018).

En un estudio por Abdul Razak et al., se observó el efecto que tenía la combinación del CMC con carragenanos y alginatos en una formulación de helados; el carragenano analizado

fue el C Kappa por sus propiedades gelificantes y su reactividad con las micelas de caseína ayudando a que no se separe el suero, se determinó que su uso es necesario cuando se involucra la etapa de maduración del helado para darle mayor estabilidad. Por otro lado, el alginato analizado fue el alginato de sodio que proviene del ácido algínico de algas marrones, este genera una buena viscosidad dando cuerpo y textura al helado (2019). La sal de calcio de este estabilizador es insoluble debido a la reacción de los iones de calcio y las regiones del bloque G en la cadena donde el gel depende de ambos (Saremnezhad et al., 2020). Los resultados obtenidos indican que una combinación de 0,151% de CMC y 0,149% de alginato de sodio presentó el mayor valor de overrun con 98,62% y una tasa de derretimiento de 0,02 g/min (Abdul Razak et al., 2019). El uso de carragenano disminuye la cantidad de aire que se puede incorporar en el helado debido a un aumento indeseable de la viscosidad aparente de la mezcla (Ayudiarti et al., 2020) (Cornelia & Sanny, 2019), (Wu et al., 2019), (Serdar Akin et al., 2019), (Milliatti & Lannes, 2018).

Sharma et al., señalan que en general, los almidones modificados, derivados de celulosa, pectina, inulina, goma xanthan y carragenano son adecuados para sustituir en las formulaciones bajas y sin grasas por sus propiedades fisicoquímicas. Por ejemplo, los almidones modificados ayudan al desarrollo de viscosidad en la fase acuosa del helado y evitan la formación de cristales de hielo mejorando la textura final del producto bajo en grasa (2017). Varios investigadores han analizado al almidón esterificado con anhídrido octenil succínico (OSA) por su carácter anfifílico que presenta condiciones para ser un buen emulsionante en reemplazo de la grasa, este hidrocoloide junto al concentrado de suero de leche 70 y almidón modificado comercialmente disponible, presentaron distintos valores de overrun según el contenido de grasa que reemplazaron (No et al., 2019), (Sharma et al., 2017). El control se realizó con una sustitución del 10% de grasa presentando un 40,3% de overrun. Seguido de esto, la formulación con más porcentaje de overrun fue la de 7,5% de reemplazo y 1% de inulina con un valor de

34,3%. Finalmente, mientras más se usaban los emulsionantes como reemplazo se obtenía una menor tasa de derretimiento, debido a que la mezcla presentaba una red de gel con mejor resistencia estructural (Sharma et al., 2017).

Es importante considerar el contenido de grasa que tiene el helado ya que estudios han demostrado que una mayor cantidad de este nutriente, menor estabilidad tendrá el producto (Ilansuriyan & Shanmugam, 2018) debido a que influye negativamente en la tasa de fusión de este (Danesh et al., 2017), ya que la grasa puede alterar la capa de proteína viscoelástica en las interfaces aire/suero al reducir las interacciones proteína-proteína necesarias para la estabilización de las burbujas de aire (Loffredi et al., 2020) (Danesh et al., 2017). Para controlar el efecto negativo que tiene la grasa en los helados se usan estabilizantes y emulsificantes como el polisorbato, para promover la dispersión de los glóbulos de grasa y favorecer en las propiedades desarrolladas durante el batido y fusión, además de estabilizar el contenido de grasa para tener una textura suave y esponjosa (Hasenhuettl & Hartel, 2019), (Sofian-Seng et al., 2017). La goma guar usada en conjunto de otros estabilizantes como el polisorbato, produce mejores resultados; se observó que estos dos componentes junto al carboximetilcelulosa sódica y al monoestearato de glicerol produjeron un aumento de 156% de overrun en una mezcla con un 0,7% de nivel de grasa (Ilansuriyan & Shanmugam, 2018). Así mismo, Tekin, Sahin & Sumnu, indica que el uso de emulsión doble de goma guar y goma tragacanto participa como estabilizante con mejores resultados en la elaboración de helados, así, indican que con un reemplazo con goma tragacanto sobre una parte de la goma guar permitió un 6% mayor de overrun en el helado, esto se debe a que tiene una estructura abierta con un grupo carboxilo que facilita la estabilización estérica con las micelas de la caseína afectando la repulsión electrostática (2017). La goma de tragacanto permanece sobre las micelas y la viscosidad de la emulsión aumenta por la presencia de la goma (Kurt et al., 2016). La combinación goma guar-goma tragacanto permitió una disminución del 2,6% de grasa en la formulación, sin afectar la

calidad y la percepción del producto, además de reducir la velocidad de fusión en un 13% en comparación a los helados que solo usaron goma guar (Tekin, Sahin & Sumnu, 2017).

Otro hidrocoloide estudiado en formulación de helados es la inulina. Esta se deriva de los cereales y es muy usado en la industria alimenticia por sus propiedades estabilizantes por su capacidad de unir moléculas de agua. En el helado directamente, favorece el aumento de overrun (Sharma et al., 2017). La goma de algarroba es otro muy usado estabilizador que tiene propiedades gelificantes puede disminuir la temperatura crioscópica y tiempo de fusión por la formación de una red similar a la de un gel en la estructura del helado (Chaves et al., 2018). En el estudio realizado por Malgorzata Góral, se analizó el efecto de ambos aditivos en la mezcla de helados sin grasa animal, así, sin el uso de estabilizadores se alcanza un 8,76% de aireamiento mientras que con el uso de la inulina y goma de algarroba; con un mayor porcentaje del primero, aumentó este valor hasta un 15,31%; además, sensorialmente fue muy bien aceptado, se destacó el sabor y textura cremosa que presentó el producto final (2018).

Por otro lado, otro aditivo utilizado por la industria de alimentos es la goma xanthan, debido a que tiene efecto favorable en el aumento de la viscosidad, además que evita la formación de cristales de hielo en la congelación, da firmeza a la mezcla de los helados y resalta los sabores (Liu et al., 2018), (Sharma et al., 2017), (Yan et al., 2021). La goma guar y la goma de semilla de albahaca han presentado el mismo desempeño. Fatemeh Javidi et al. encontró que, a una misma concentración, la goma guar aporta mayor incremento de overrun debido a que forma mezclas más viscosas, sin embargo, la mezcla de ambos también tuvo resultados positivos, finalmente, afirma que los sólidos grasos en la formulación ayudan a una mejor viscosidad reduciendo la tasa de derretimiento (2016). (Javidi et al., 2016).

El uso de microalgas como estabilizantes en la elaboración de helados ha ido incrementando ya que estas incluyen polisacáridos y polisacáridos sulfatados que son

considerados estabilizantes. Además, su composición bioquímica puede enriquecer el contenido de compuestos bioactivos en los alimentos y actuar como colorantes naturales en helados (Durmaz et al., 2020).

La fibra es un polisacárido de origen vegetal, con propiedades emulsificantes y gelificantes, debido a su gran capacidad para retener agua en sus matrices (El-Shafei, 2020). Cuando se sumerge la fibra en agua, esta absorbe rápidamente el líquido formando un gel pegajoso e insípido, lo que aumenta la viscosidad de la solución (Kurt & Atalar, 2018). Además, la incorporación de fibra mejora las propiedades organolépticas y aumenta la vida útil (Tsevdou et al, 2019).

La chía en agua, forma mucílago, fibra soluble, de alta estabilidad, que puede emplearse como emulsionante. En un estudio de Sahid se observó que la adición de harina de chía incrementó el porcentaje de overrun entre 70-75%, en productos reducidos en grasa. Así mismo, aumentó la resistencia de fusión, brindando mayor estabilidad en helados (El-Shafei, 2020). Por otro lado, la adición de la semilla entera tuvo un porcentaje de overrun de 32-36% y se determinó que el uso de esta puede reemplazar la adición de otros tipos de emulsificantes y estabilizantes (Campos et al, 2015).

El uso de fibras provenientes de pulpas, piel y semillas de frutas también se hace más frecuente, al igual que la fibra soluble de la chía, estas aumentan el porcentaje de overrun (Kurt & Atalar, 2018) y la tasa de derretimiento (Loffredi et al., 2020). La semilla de membrillo, en un estudio aumentó el porcentaje de overrun entre un 25-30%, redujo la velocidad de fusión y mejoró el tiempo de primer goteo (Kurt & Atalar, 2018).

Proteínas.

Las proteínas son macromoléculas con carácter anfílico que les permite ser buenos emulsionantes y estabilizantes en soluciones de grasa y agua (Chen et al., 2019) durante la

homogeneización (Kurt & Atalar, 2018), estas contribuyen en el desarrollo estructural del helado por su papel en la emulsificación de la solución, al ser adsorbidas a la superficie de los glóbulos de grasa, se reduce la tensión interfacial, separándolos en pequeñas gotas individuales durante largos períodos de tiempo (Tipchuwong et al, 2017) previniendo la aglomeración (Kurt & Atalar, 2018). Además, son agentes espesantes por su capacidad de retención de agua (Loffredi et al., 2020), y aportan a la encapsulación de células de aire y estabilidad de la misma (Goff, 2016).

Proteínas animales.

Las proteínas presentes en la leche se conocen por su alta espumabilidad debido a su poder tensoactivo (Loffredi et al., 2020), estabilizan las gotas de grasa por repulsión estérica (Chen et al., 2019) y, además, son emulsionantes naturales debido a la naturaleza anfifílica de las moléculas. Son reconocidas por ser ingredientes GRAS y por tener un aporte de proteína dietética de calidad (Tipchuwong et al, 2017). En la elaboración de helados desestabilizan la fase de grasa durante la homogeneización para producir una emulsión más estable en la etapa de mezclado. Durante el batido, las proteínas presentes en el estado seroso contribuyen a la incorporación de aire en células pequeñas y estables (Goff, 2016). En un estudio realizado por Lomino, et. al. Se mostró que el concentrado funcional de las proteínas lácteas en conjunto con Cremodán SE favorece la formación de espuma en helados con grasa vegetal, aumentando la incorporación de aire, por maquinaria, significativamente en un 36.6% a comparación de la muestra sin proteína ni estabilizante, presentando también las mejores características de fusión; retención de forma y fenómeno de fusión reducido al exponerse a estrés térmico (Lomolino et al, 2020).

En contraste, un estudio realizado por Loffredi, Morianno, Masseroni y Alamprese, investigaron la aplicación de concentrado de suero sin aditivos adicionales en formulaciones de helados artesanales bajos en grasa (Loffredi et al., 2020), y a pesar de que el porcentaje de

overrun fue menor al estudio por Lomino (Lomolino et al, 2020) por el bajo contenido de grasa al igual que la falta de maquinaria, el efecto obtenido fue favorable. La formulación con concentrado de proteína de suero de leche obtuvo un overrun de 49.9%, con una diferencia de 0.9% menor a la formulación referencial con mono y diglicéridos. Sin embargo, la tasa de derretimiento fue mayor al control con una diferencia de 3.3g/min (Loffredi et al., 2020). Este mismo resultado se mostró en un estudio realizado por Danesh, Goudarzi y Jooyandeh encontraron que la adición de proteína de suero disminuye la tasa de fusión del helado, y en conjunto con la enzima transglutaminasa (2017); ya que mejora la propiedades sensoriales y físicas de helados bajos en grasa (Mohammad et al., 2017) debido a que las proteínas pueden simular el papel de la grasa en la textura, al igual que podría evitar el aumento del volumen de la fase de hielo del helado. En este caso, la adición de proteína de suero con el tratamiento con transglutaminasa, a diferencia de la muestra solo con proteína de suero, mejoró el overrun y disminuyó la dureza del helado reducido en grasa. Esta sinergia favorable puede atribuirse a la formación de redes proteicas catalizadas por enzimas con una mayor capacidad para retener aire en estas muestras (Danesh et al., 2017).

La gelatina también es una alternativa utilizada como emulsificante y aglutinante. Es un polímero de aminoácidos que se encuentran en el colágeno del tejido óseo y la piel de animales que se puede utilizar como espumante en formulaciones alimenticias (Ayudiarti et al., 2020) por su capacidad de retención de agua y alta solubilidad, además en los helados ayuda a evitar la cristalización del azúcar y de la lactosa durante el proceso de congelación y almacenamiento (Cornelia & Sanny, 2019) En el estudio realizado por Ayudiarti, Suryanti y Oktavia, analizaron el comportamiento de la gelatina de fuente bovina y de pescado en el helado concluyendo que los mejores resultados en el aumento de overrun y punto de fusión se atribuyen a la fuente bovina debido a generar la viscosidad adecuada para el desempeño correcto de estos dos parámetros (2020). La viscosidad es importante a considerar debido a que

valores muy bajos promueven que la película entre las burbujas de aire se drene y se fusionen entre ellas y valores muy bajos generan una mezcla dura con menor capacidad de incorporación de aire (Javidi et al., 2016).

Proteínas vegetales.

Otra alternativa para la formulación con reemplazo de grasa es la adición de hidrolizado de proteína de soja y goma xanthan, debido a su capacidad espumante y espesante (Liu et al., 2018) y (Yan et al., 2021). El hidrolizado de proteína de soja es capaz de formar enlaces de hidrógeno entre las moléculas, facilitando la formación de una película de burbujas con suficiente viscosidad y resistencia mecánica (Liu et al., 2018) y a la disminución en la tasa de fusión (Danesh et al., 2017) debido a que la goma xanthan aumenta la estabilidad de la red y obstaculiza la migración de moléculas de agua, resultando en una mayor resistencia térmica. (Yan et al., 2021) y (Guo et al., 2018). La combinación de hidrolizado de proteína de soja y goma xanthan actúa como reemplazo parcial de grasa favoreciendo las propiedades sensoriales y estructurales del producto (Liu et al., 2018) y (Yan et al., 2021). Yan et al. (2021) estudiaron la relación 92:8 de hidrolizado de proteína de soja y goma xanthan. El estudio presentó que el overrun aumentó en 42.2% en contraste a la mezcla sin grasa ni reemplazo de grasa, con la menor tasa de derretimiento con 0.3%/min a comparación del control con un valor de 2%/min. Por otro lado, Liu et al. obtuvo mejores resultados en la relación 96:4 de overrun y velocidad de fusión al agregar aislado de soja para mejorar la estabilidad de la espuma (2018) tener una mezcla más viscosa y un producto más resistente a la fusión (Chen et al., 2019). La adición de compuestos de soja como reemplazo de grasa puede conseguir cristales de hielo más pequeños y minimizar la recristalización del hielo bajo las fluctuaciones de temperatura (Chen et al., 2019). La acción conjunta del hidrolizado y la goma permite la formación de una red de gel estable a través de interacciones mejoradas entre goma xanthan y agregados de proteínas

desnaturalizadas por calor, incorporando más células de aire pequeñas, y por consecuencia el volumen final (Yan et al., 2021).

El aislado de proteína de soya también es una alternativa para el reemplazo parcial de grasa. Guo et al. estudió su aplicación en conjunto con celulosa nanobacteriana (nano-BC) en relación 20:1. Estos presentaron propiedades emulsionantes/estabilizantes al prevenir la aglomeración de las gotas de aceite al adherirse a su superficie. Los remanentes no adsorbidos pueden interactuar de forma no covalente entre sí para formar una red similar a un gel, mejorando la estabilidad de la emulsión al evitar el movimiento de glóbulos de grasa (Guo et al., 2018). El aislado de proteína de soya, como único aditivo en una mezcla de helado artesanal, se estudió por Loffredi, Morianno, Masseroni, y Alamprese, donde mostraron que la adición permitió un overrun final de 52%, valor 1.02 veces mayor a la mezcla referencia con mono y diglicéridos en su composición. Por otro lado, disminuyó la tasa de derretimiento en un 4.2% (Loffredi et al., 2020). La adición de celulosa nanobacteriana mejora las interacciones y la viscosidad de la fase continúa debido a su peso molecular relativamente alto (Guo et al., 2018)

En el mismo estudio realizado por Loffredi, Morianno, Masseroni, y Alamprese, la adición de concentrado de proteína de arroz aumentó el porcentaje de overrun en la mezcla con respecto al control con un valor de 59,2% y tasa de derretimiento de 2.32 g/ min siendo este valor 11.5% menor a la formulación referencial con mono y diglicéridos como emulsificantes tradicionalmente utilizados en la industria heladera. Este fue el mayor porcentaje de overrun en el estudio, lo cual se atribuye a la solubilidad de las proteínas, composición de aminoácidos y el balance hidrofílico y lipofílico (Loffredi et al., 2020).

Enzimas.

Las enzimas se usan para mejorar características tecnológicas y nutricionales, en una gran variedad de productos alimenticios. Esto permite aumentar el rendimiento y disminuir

costos de producción. Además de crear etiquetas nutricionales más limpias; como por ejemplo al emplear enzimas en productos lácteos, se puede disminuir el porcentaje de grasa, sin afectar las propiedades organolépticas (Mohammad et al., 2017).

El uso de la transglutaminasa (MTGase), aumenta constantemente, ya que permite formar nuevas estructuras y matrices con mayor estabilidad. Esta se encarga de modificar la distribución de las partículas mediante reticulación (Hasenhuettl & Hartel, 2019). Favorece el overrun en un 22% en productos bajos en grasa, además mantiene una estructura tridimensional. Así mismo, mejora la conectividad de la película absorbida en las micelas de grasa y cohesión de la membrana de las burbujas de aire (Mohammad et al., 2017). Sin embargo, en otros estudios realizados, se observó que la adición de MTGase, aumentó significativamente el índice de desestabilización de la grasa, de modo que, se recomienda el uso de esta enzima en productos bajos en grasa. Además, disminuye la tasa de derretimiento y la dureza en helados (Danesh et al., 2017).

En el estudio realizado por Serdan, et al. se observó que la adición de estabilizadores junto a MTGase aumenta el porcentaje de overrun, a comparación si solo se añade la enzima, las muestras que contenían solo la enzima obtuvieron un valor alrededor del 20% de overrun y las que tenían la enzima más el estabilizante un obtuvieron un 30% de esponjamiento (Serdar Akin et al., 2019). De igual manera, se evidenció que el proceso de la pasteurización tiene un efecto positivo sobre el overrun, ya que en este proceso la enzima estabiliza el sistema de emulsión, al crear enlaces cruzados o intramoleculares que permiten mantener la estructura (Danesh et al., 2017).

CONCLUSIONES

El uso de emulsionantes y estabilizantes es parte de la formulación de varios helados. Los más usados son la goma guar, goma xanthan, inulina, CMC y derivados de la celulosa. En una formulación de helados con 0,151% de carboximetilcelulosa y 0,149% de alginato de sodio, se obtuvo un 98,62% de overrun, siendo la mezcla óptima para poder incorporar mayor aire a la estructura y mantenerla estable.

Las fibras actúan como estabilizantes y emulsificantes, con ellas se puede obtener un incremento en el porcentaje de aireado hasta un 30%; sin embargo, estas tienen aumentar la dureza de los helados. Por lo que se puede usar combinar con otros estabilizantes, para obtener mejores características organolépticas.

Las proteínas tienen propiedades emulsificantes y estabilizantes y tanto las fuentes de origen animal como vegetal, en sinergia con algunas gomas como la goma xanthan, permiten el incremento de volumen del producto al favorecer la incorporación de aire. A pesar de que los valores de overrun obtenidos fueron menores a los evidenciados con otros aditivos. Por otro lado, su aplicación permite seguir la tendencia de etiquetas limpias, sin que la calidad del helado se vea afectado. Las enzimas mejoran las características nutricionales y tecnológicas de estos productos. Su uso además de aumentar el porcentaje de overrun y la tasa de derretimiento, disminuye costos de producción al disminuir el porcentaje de grasa requerido en la elaboración de helados.

El uso de grasa animal influye negativamente en la tasa de fusión de los helados porque altera la capa proteica viscoelástica en las interfaces de aire y suero y desestabiliza las burbujas de aire, para controlar este efecto, se usan estabilizantes y emulsificantes, además ingredientes como las proteínas y fibras sirven como reemplazo parcial de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul Razak, S. Z., Abd. Rahman, N. A., Baharuddin, A. S., Mohd Amin, N. A., Johari, A. M., & Parid, D. M. (2019). Optimisation of stabiliser combinations in instant ice cream mix powder formulation via mixture design methodology. *International Food Research Journal*, 26(2), 1689–1698.
- Ayudiarti, D. L., Suryanti, & Oktavia, D. A. (2020). The Effect of Different Types and Gelatin Concentrations on Ice Cream Quality. *E3S Web of Conferences*, 147. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703026>
- Campos, B. E., Ruivo, T. D., Mônica, R., Scapim, S., Madrona, S., & Bergamasco, R. D. C. (2015). SC. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.021>
- Chaves, M. A., Piati, J., Malacarne, L. T., Gall, R. E., Colla, E., Bittencourt, P. R. S., de Souza, A. H. P., Gomes, S. T. M., & Matsushita, M. (2018). Extraction and application of chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) and locust bean gum (*Ceratonia siliqua* L.) in goat milk frozen dessert. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 4148–4158. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3344-2>
- Chen, W., Liang, G., Li, X., He, Z., Zeng, M., Gao, D., Qin, F., Goff, H. D., & Chen, J. (2019). Effects of soy proteins and hydrolysates on fat globule coalescence and meltdown properties of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 94(February), 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.045>
- Cornelia, M., & Sanny. (2019). Utilization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) in the making of low-fat pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne) ice cream. *International Journal of Technology*, 10(8), 1479–1478. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i8.3451>
- Danesh, E., Goudarzi, M., & Jooyandeh, H. (2017). Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5206–5211. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537>
- Durmaz, Y., Kilicli, M., Toker, O. S., Konar, N., Palabiyik, I., & Tamtürk, F. (2020). Using spray-dried microalgae in ice cream formulation as a natural colorant: Effect on physicochemical and functional properties. *Algal Research*, 47(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101811>
- El-Shafei, S. M. S. (2020). Manufacture of functional and healthy probiotic frozen goat's Yoghurt using chia flour. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(6), 753–768. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.753.768>
- Goff, H. (2016). *Milk Proteins in Ice Cream*. Springer: New York

- Góral, M., Kozłowicz, K., Pankiewicz, U., Góral, D., Kluza, F., & Wójtowicz, A. (2018). Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. *Lwt*, *92*(October 2017), 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.010>
- Grigio, M. L., Durigan, M. F. B., & Chagas, E. A. (2019). Different formulations of camu-camu popsicle: Characterization, vitamin C and sensorial analysis of an opportunity to family agroindustry. *Food Science and Technology*, *39*, 93–97. <https://doi.org/10.1590/fst.38417>
- Guo, A. Y., Zhang, X., Hao, W., & Xie, Y. (2018). Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. *Carbohydrate Polymers*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.078>
- Hasenhuettl, G. & Hartel, R. (Eds.). (2019). *Food Emulsifiers and Their Applications*. Springer: Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29187-7_15
- Ilansuriyan, P., & Shanmugam, M. (2018). Rheological, physiochemical and sensory properties of no fat to high fat ice creams samples prepared using stabilizer/emulsifier blends created with liquid and powder polysorbate-80. *International Food Research Journal*, *25*(6), 2579–2584.
- Javidi, F., Razavi, S. M. A., Behrouzian, F., & Alghooneh, A. (2016). The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*, *52*, 625–633. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.006>
- Jiang, J., Jing, W., Xiong, Y. L., & Liu, Y. (2019). Interfacial competitive adsorption of different amphiphaticity emulsifiers and milk protein affect fat crystallization, physical properties, and morphology of frozen aerated emulsion. *Food Hydrocolloids*, *87*(June 2018), 670–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.005>
- Kurt, A., & Atalar, I. (2018). Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. *Food Hydrocolloids*, *82*, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.011>
- Kurt, A., Cengiz, A., & Kahyaoglu, T. (2016). The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. *Carbohydrate Polymers*, *143*, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.018>
- Liu, R., Wang, L., Liu, Y., Wu, T., & Zhang, M. (2018). Fabricating soy protein hydrolysate/xanthan gum as fat replacer in ice cream by combined enzymatic and heat-shearing treatment. *Food Hydrocolloids*, *81*, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.031>

- Loffredi, E., Moriano, M. E., Masseroni, L., & Alamprese, C. (2020). Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. In *Lwt*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110499>
- Lomolino, G., Zannoni, S., Zabara, A., Da Lio, M., & De Iseppi, A. (2020). Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. *International Dairy Journal*, *100*, 104557. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104557>
- Milliatti, M. C., & Lannes, S. C. da S. (2018). Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. *Food Science and Technology*, *38*(4), 733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>
- Mohammad, S., Gharibzahedi, T., Koubaa, M., Barba, F. J., Greiner, R., George, S., & Roohinejad, S. (2017). Recent advances in the application of microbial transglutaminase crosslinking in cheese and ice cream products: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.115>
- Mohammed, N. K., Muhiyaldin, B. J., & Meor Hussin, A. S. (2020). Characterization of nanoemulsion of Nigella sativa oil and its application in ice cream. *Food Science and Nutrition*, *8*(6), 2608–2618. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1500>
- No, J., Mun, S., & Shin, M. (2019). Properties and digestibility of octenyl succinic anhydride-modified Japonica-type waxy and non-waxy rice starches. *Molecules*, *24*(4), 6–9. <https://doi.org/10.3390/molecules24040765>
- Ozcelik, M., Ambros, S., Heigl, A., Dachmann, E., & Kulozik, U. (2019). Impact of hydrocolloid addition and microwave processing condition on drying behavior of foamed raspberry puree. *Journal of Food Engineering*, *240*(June 2018), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.001>
- Parnanto, N. H. R., Yudhistira, B., Pertiwi, S. R., & Pangestika, A. (2018). The effect of CMC and arabic gum stabilizer combination on the characteristics of soursop velva (*Annona muricata* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *142*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012027>
- Sebayang, F., & Sembiring, H. (2017). Synthesis of CMC from palm midrib cellulose as stabilizer and thickening agent in food. *Oriental Journal of Chemistry*, *33*(1), 519–530. <https://doi.org/10.13005/ojc/330162>
- Serdar Akin, M., Goncu, B., & Akin, M. B. (2019). Designing an industrial protocol to develop a new fat-reduced-ice cream formulation by replacing stabilizers with microbial transglutaminase enzyme. *Mljekarstvo*, *69*(3), 162–171. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2019.0302>

- Sharma, M., Singh, A. K., & Yadav, D. N. (2017). Rheological properties of reduced fat ice cream mix containing octenyl succinylated pearl millet starch. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1638–1645. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2595-7>
- Sofian-Seng, N. S., Golding, M., Goh, K., Janssen, P., & Lee, S. J. (2017). In Situ Enzymatic Synthesis of Polar Lipid Emulsifiers in the Preparation and Stabilisation of Aerated Food Emulsions. *Food Biophysics*, 12(3), 323–338. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9488-1>
- Tekin, E., Cai, Z., Sahin, S., & Sumnu, G. (2017). Physicochemical, rheological and sensory properties of low-fat ice cream designed by double emulsions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 1–32.
- Tipchuwong, N., Chatraporn, C., Ngamchuachit, P., & Tansawat, R. (2017). Increasing retention of vitamin D3 in vitamin D3 fortified ice cream with milk protein emulsifier. *International Dairy Journal*, 74, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.01.003>
- Tsevdou, M., Aprea, E., Betta, E., Khomenko, I., Molitor, D., Biasioli, F., Gaiani, C., Gasperi, F., Taoukis, P., & Soukoulis, C. (2019). Rheological, Textural, Physicochemical and Sensory Profiling of a Novel Functional Ice Cream Enriched with Muscat de Hamburg (*Vitis vinifera* L.) Grape Pulp and Skins. *Food and Bioprocess Technology*, 12(4), 665–680. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-2237-3>
- Warren, M. M., & Hartel, R. W. (2018). *Effects of Emulsifier, Overrun and Dasher Speed on Ice Cream Microstructure and Melting Properties*. 00(00). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13983>
- Wu, B., Freire, D. O., & Hartel, R. W. (2019). The Effect of Overrun, Fat Destabilization, and Ice Cream Mix Viscosity on Entire Meltdown Behavior. *Journal of Food Science*, 84(9), 2562–2571. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14743>
- Yan, L., Yu, D., Liu, R., Jia, Y., Zhang, M., Wu, T., & Sui, W. (2021). Microstructure and meltdown properties of low-fat ice cream: Effects of microparticulated soy protein hydrolysate/xanthan gum (MSPH/XG) ratio and freezing time. *Journal of Food Engineering*, 291(August 2020), 110291. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110291>
- Yousefi, M., & Jafari, S. M. (2019). Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 88(October 2018), 468–483. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.015>