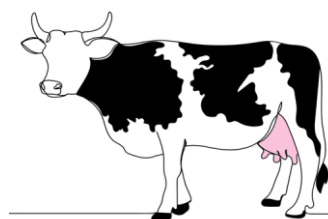


Triacilglicerol de la grasa láctea: Conocimiento clave para la investigación y desarrollo de productos ricos en grasa láctea



Aproximadamente el 98% de la grasa láctea son triacilglicerol, los cuales están compuestos por tres ácidos grasos esterificados a una molécula de glicerol. En la grasa láctea existen aproximadamente 400 diferentes tipos de ácidos grasos, resultando así en la formación de una variedad enorme de especies de triacilglicerol. Uno de los estudios más recientes sobre la composición de triacilglicerol en la grasa láctea identificó 3454 especies (Liu et al., 2020), las cuales con sus diferentes estructuras químicas (número de carbonos en su cadena y número de enlaces dobles en la misma) determinan las propiedades físicas de la grasa láctea. Una alta abundancia de triacilglicerol con cadenas largas y/o enlaces sencillos en su estructura incrementarán el punto de fusión de la grasa láctea, y viceversa una alta abundancia de triacilglicerol de cadena corta y/o con varios enlaces dobles en su estructura disminuirán el punto de fusión de la grasa láctea. Estas características estructurales de los triacilglicerol de la grasa láctea se pueden alterar por medio de la alimentación bovina para el desarrollo de productos ricos en grasa y así aportar las características sensoriales deseadas para el consumidor (por ejemplo: sabor y textura). Para mayor información sobre los factores que determinan la composición de ácidos grasos y a su vez la composición de triglicéridos referirse a la nota de interés publicada en Agosto de 2022 en la plataforma web de ACTA en la sección "notas de interés" titulada "Triacilglicerol de la grasa láctea: Su composición, estructura e importancia en el desarrollo de productos alimenticios ricos en grasa".

El punto de fusión de la grasa láctea es determinado por su composición de triglicéridos. Aproximadamente a temperaturas menores o iguales de -40°C la mayoría de los triglicéridos se encuentra en estado sólido y a temperaturas mayores o iguales de 40°C se encuentran en estado líquido. A temperaturas entre -40°C y 40°C la grasa láctea contiene una fracción de grasa en estado sólido y otra fracción en estado líquido. Por esta razón, en el desarrollo de productos alimenticios altos en grasa se hace referencia al contenido de grasa sólida y grasa líquida. La apropiada combinación de las dos, fracción sólida vs fracción líquida, a una temperatura específica, determinará la textura deseada del producto alimenticio. La fracción en estado sólido estará compuesta por los triglicéridos con puntos de fusión superiores a la temperatura de interés y la fracción en estado líquido estará compuesta por los triglicéridos con puntos de fusión iguales o inferiores a la temperatura de interés. Un incremento en el contenido de grasa sólida resultará en un producto alimenticio con textura más "dura", y a medida que incrementa la fracción de grasa líquida se podrá obtener un producto alimenticio más "suave". Es por esta razón que la determinación del



contenido de grasa sólida es un conocimiento clave para el desarrollo de texturas en productos altos en grasa.

La figura 1 muestra un ejemplo del contenido de grasa en estado sólido y grasa en estado líquido en la grasa láctea analizado entre 0 y 40°C obtenido por medio de la técnica resonancia magnética nuclear (o en inglés nuclear magnetic resonance (**NMR**)). A temperaturas de refrigeración (entre 4°C y 10°C) el balance de las dos determinará la facilidad de esparcibilidad y textura del producto alimenticio a estas temperaturas. Por otro lado, el contenido de grasa en estado sólido entre 20 y 22°C determina la estabilidad y resistencia a la exudación de grasa del producto alimenticio a temperatura ambiente. Para evitar lo anterior y mantener las características del producto alimenticio a temperatura ambiente se recomienda un mínimo de 10% de grasa en estado sólido y 90% de grasa en estado líquido. Por último, entre 33°C y 38°C el contenido de grasa en estado sólido determina la sensación en boca o palatabilidad del producto alimenticio (por ejemplo: la sensación de espesor y liberación de sabor). Resumiendo, el contenido de grasa en estado sólido vs el contenido en estado líquido a una temperatura específica son determinantes para la creación y desarrollo de productos altos en grasa, ya que determinan sus parámetros de calidad y atributos sensoriales (especialmente su textura) a diferentes temperaturas.

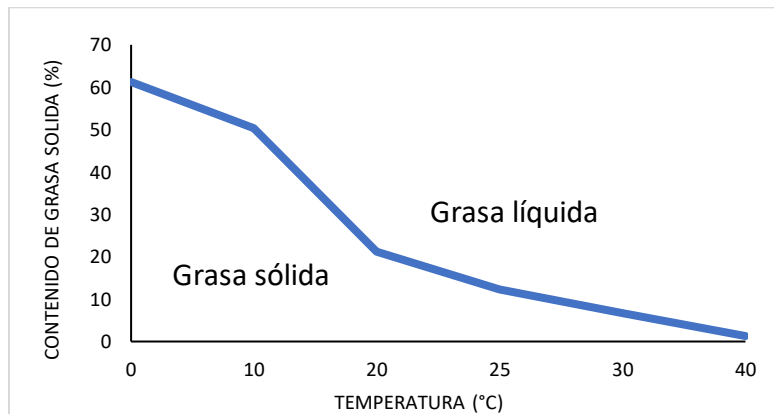
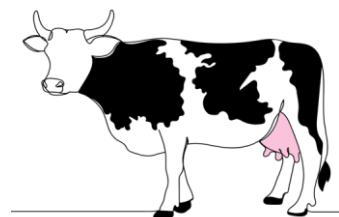


Figura 1. Contenido de grasa sólida vs grasa líquida en la grasa láctea analizada a 0, 10, 20, 25, 30 y 40°C

Las características estructurales de los triacilgliceroles no sólo determinan el punto de fusión de la grasa láctea y por ende el contenido de grasa en estado sólido vs grasa en estado líquido; también determinan el polimorfismo de los cristales que se forman en la misma. El tipo de polimorfismo define la textura y estabilidad de los productos alimenticios altos en grasa, por ejemplo, si la textura es "arenosa" o "suave" en el paladar. Los polimorfos de cristal más comunes en la grasa láctea son de tipo α , β' y β , donde α se transforma en β' y β' se transforma en β . El tipo de polimorfismo presente en la grasa láctea lo define la organización espacial de los triglicéridos, donde la distancia entre ellos (en inglés llamado d-spacing) caracteriza el tipo de polimorfo de cristal. La figura 2 describe el mecanismo de



la formación de los polimorfos de cristal en la grasa láctea. Todo empieza con la organización de los diferentes triacilglicerolos uno al lado del otro, resultando en la formación de lamelas cristalinias de triglicéridos. Estas lamelas se apilan una encima de la otra formando nano-plaquetas, las cuáles se aglomeran resultando en la configuración de partículas policristalinias. Consecutivamente estas partículas policristalinias se conglomeran formando cadenas tridimensionales, las cuales son responsables de las características sensoriales y propiedades reológicas de la grasa láctea (Arita-Merino et al. 2022, Marangoni et al. 2020).

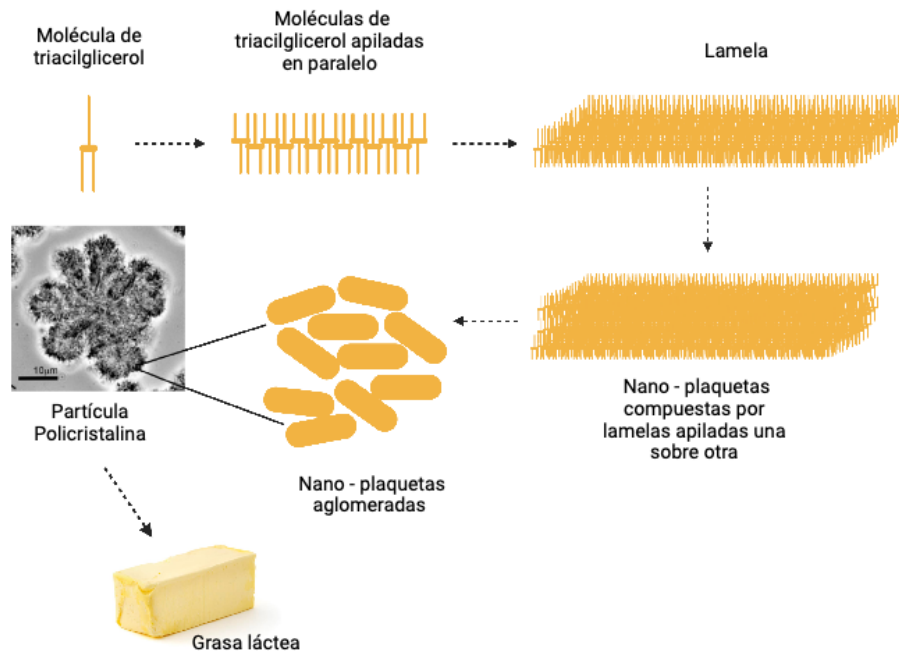
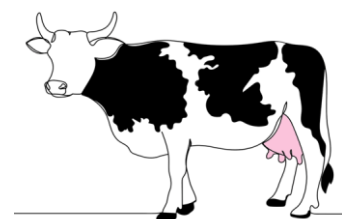


Figura 2. Representación esquemática del mecanismo de la formación de cristales de grasa láctea basado y modificado de información encontrada en literatura (Arita-Merino et al. 2022, Marangoni et al. 2020). La imagen de la partícula cristalina fue reportada por Marangoni et al. (2019). Creado con BioRender.com.

Hoy día la mayoría de industrias alimenticias que producen alimentos altos en grasa (por ejemplo: mantequillas, margarinas y/o cremas esparcibles) enfocan gran parte de su investigación y desarrollo en el entendimiento de las fracciones líquida y sólida de grasa utilizada, y la influencia de los diferentes tipos de polimorfos de cristal de la misma en las características sensoriales de sus productos. Conocer a nivel nano y micro la estructura en este caso de la grasa láctea, genera un conocimiento clave para poder predecir y diseñar productos altos en grasa con las características sensoriales y de calidad requeridas que cumplan con las expectativas del consumidor. Con este fin las áreas de investigación y desarrollo de este tipo de empresas cuentan con tecnologías como resonancia magnética nuclear (o en inglés nuclear magnetic resonance (**NMR**)), "calorimetría diferencial de barrido" (en inglés Differential Scanning Calorimetry (**DSC**)) y "difracción de rayos X (en inglés X-ray diffraction (**XRD**)). La técnica analítica NMR se utiliza para la determinación del contenido de grasa sólida, la técnica analítica DSC se utiliza para un mayor entendimiento



de la fase sólida y líquida de la grasa láctea, y la técnica XRD se utiliza para el análisis estructural de las partículas cristalinas presentes en la grasa láctea a diferentes temperaturas. Al relacionar la información obtenida con estas técnicas (características físicas y estructurales de las grasas) con su composición química (triacilgliceroles y ácidos grasos) es posible predecir y diseñar texturas y liberar sabores específicos en los productos alimenticios altos en grasa.

En específico, por medio de la técnica analítica DSC es posible determinar cambios en la cantidad de calor liberado o absorbido en un material. Es una técnica utilizada en el estudio de materiales en varias ingenierías. En el caso de la grasa láctea (o grasas en general) con esta técnica es posible determinar la liberación de calor de la misma durante el proceso de cristalización y la absorción de calor durante el proceso de fusión. La figura 3 presenta los termogramas típicos de la grasa láctea durante su fusión iniciando desde -50°C y calentando hasta 50°C y su enfriamiento iniciando desde 50°C y bajando hasta -50°C .

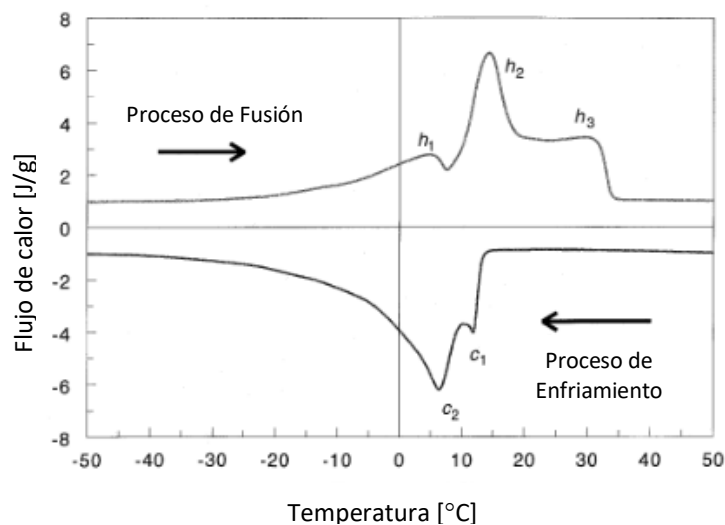
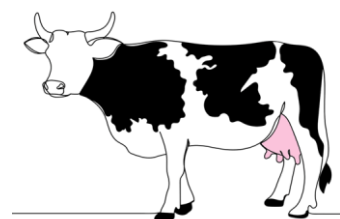


Figura 3. Termograma típico del ciclo de fusión y enfriamiento de la grasa láctea modificado del estudio reportado por Grotenhuis et al. (1991).

Durante el proceso de fusión de la grasa láctea, la técnica DSC proporciona información detallada sobre las fracciones que componen la grasa láctea en estado líquido. En la grasa láctea existen 3 fracciones: fracción de grasa de fusión baja (en inglés "low melting fraction", h_1), fracción de grasa de fusión media (en inglés "medium melting fraction", h_2) y fracción de grasa de fusión alta (en inglés "high melting fraction", h_3). El valor de cada fracción se determina por medio de la integración de la curva de fusión, donde la porción de área bajo la curva correspondiente a cada fracción representa el porcentaje de cada una de ellas. Conocer el valor de las diferentes fracciones líquidas a diferentes condiciones de procesamiento (por ejemplo: temperatura y velocidad de calentamiento y/o enfriamiento) es importante para obtener la combinación de fracciones correctas y adecuadas para las características sensoriales de sabor y de textura de productos altos en grasa.



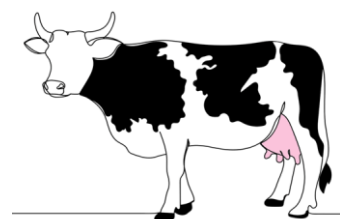
Por otro lado, durante la cristalización de la grasa láctea se observan 2 pasos identificados como pico de cristalización 1 (c1) y pico de cristalización 2 (c2). La información relevante de este análisis para la investigación y desarrollo de productos altos en grasa son el área, la temperatura inicial y la temperatura máxima de los dos picos de cristalización. El área bajo la curva de cada pico indica el porcentaje de grasa en estado sólido (o cristalina) entre la temperatura de inicio y la temperatura final correspondiente a cada pico de cristalización, la temperatura inicial indica la temperatura a la cual inicia el proceso de cristalización y la temperatura máxima indica la temperatura a la cual se obtiene la mayor cantidad de grasa láctea cristalizada. Un ejemplo del uso de esta información en la industria alimenticia es en la producción de mantequilla. En la producción de mantequilla la temperatura máxima de cristalización del primer pico de cristalización es utilizada en algunas empresas para la determinación de las temperaturas adecuadas en los tratamientos térmicos previos al proceso de agitación de la crema. El adecuado control de la cantidad de grasa en estado sólido (o cristalino) en la crema antes de su agitación es clave para obtener una mantequilla con textura suave a temperatura de refrigeración.

Junto con la información obtenida con los termogramas analizados por la técnica DSC, por medio de NMR es posible determinar con mayor precisión el contenido de grasa sólida, que como se explicó al principio de esta nota es información fundamental para el desarrollo de los atributos sensoriales de productos altos en grasa. Es decir, estas dos técnicas aportan información valiosa para el desarrollo de las texturas adecuada y estándares de calidad de productos altos en grasa. Con la finalidad de tener aún más información sobre las características de la textura y palatabilidad de los productos ricos en grasa láctea, la técnica analítica XRD ofrece información sobre los polimorfos de cristal formados a temperaturas específicas. El polimorfo de cristal más deseado en el desarrollo de productos es β' el cual es el más estable y aporta suavidad en el paladar, mientras que la formación del polimorfo β es más inestable y aporta texturas arenosas al paladar.

En general, toda la información obtenida por las diferentes técnicas (contenido de grasa sólida, fracciones de grasa líquida, fracción cristalina y morfología de los cristales de grasa) es determinada por la composición de triglicéridos de la grasa láctea. Es decir, alterar la composición de la grasa láctea resulta en cambios importantes determinantes en la calidad y características sensoriales de productos altos en grasa. Es por esta razón que hoy día existen todo tipo de estudios científicos que analizan el efecto de los diferentes factores alimenticios y fisiológicos (por ejemplo: genética bovina, etapa de lactancia de las vacas) sobre la composición de la grasa láctea, los cuales se ha comprobado influyen significativamente las propiedades físicas mencionadas en esta nota. En conclusión, es importante siempre relacionar la composición de triglicéridos de la grasa láctea utilizada con las propiedades físicas de la grasa láctea y el producto final para así tener un mayor entendimiento de cómo llegar a las características sensoriales deseadas y cumplir con los estándares de calidad del producto en desarrollo.

Autor: Sara Pacheco-Pappenheim, PhD
Correo: sarapachecopa@gmail.com

Sara Pacheco-Pappenheim, PhD.
sarapachecopa@gmail.com



Referencias:

Jensen, R.G. 2002. The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000.. *J. Dairy Sci.* 85:295–350. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74079-4.

N. Arita-Merino (2022) Milk fat Crystallization: From Molecules to Networks. <https://research.wur.nl/en/publications/milk-fat-crystallization-from-molecules-to-networks>. doi: 10.18174/557797

ten Grotenhuis, E., van Aken, G.A., van Malssen, K.F. et al. Polymorphism of milk fat studied by differential scanning calorimetry and real-time X-ray powder diffraction. *J Am Oil Chem Soc* 76, 1031–1039 (1999). <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0201-5>

Marangoni, Alejandro & Duynhoven, John & Acevedo, Nuria & Nicholson, Reed & Patel, Ashok. (2019). Advances in our understanding of the structure and functionality of edible fats and fat mimetics. *Soft Matter*. 16. 10.1039/C9SM01704F.

Mohan, M.S., T.F. O’Callaghan, P. Kelly, and S.A. Hogan. 2020. Milk fat: opportunities, challenges and innovation. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 0:1–33. doi:10.1080/10408398.2020.1778631.

