

LA CAJETA, UN DULCE DE LECHE DE CABRA

Jorge Fernando Vélez-Ruiz

<https://orcid.org/0000-0003-1526-989X>

1 Aspectos generales

1.1 Características de la cajeta

La *cajeta* es un producto lácteo con características muy particulares que se consume en México y que tiene presentaciones análogas en América Latina, tales como el dulce de leche en Argentina y el arequipe en Colombia, por mencionar algunos. Entre sus principales características está que se elabora con leche de cabra a la que se le agrega glucosa, se le da un tratamiento térmico que contribuye a darle el color y posteriormente se concentra por evaporación. En México, se consume como dulce solo, como endulzante y relleno de pasteles, o bien como saborizante de otros alimentos (bebidas, postres). De acuerdo a la norma mexicana (NMX-F-480-1985) [DGN, 1985] la cajeta puede elaborarse tanto con leche de cabra como con mezcla de leches de cabra y de vaca, adicionando azúcar, ingredientes y aditivos autorizados. Algunos de los ingredientes utilizados son glucosa y sacarosa, canela, bicarbonato de sodio, benzoato de sodio y sorbato de potasio.

La elaboración se hace en caliente, y la evaporación de agua (a presión atmosférica) se detiene hasta obtener la viscosidad y el color deseados, que caracterizan al producto. Adicionalmente, se le puede agregar vainilla o alcohol potable. Se denomina cajeta al producto que contiene 28% de agua, 7.5% de grasa de la leche, 2% de cenizas y 63% o más

de azúcar [INAES, 2007]; aunque García [1999] reporta la siguiente composición como típica de la cajeta: sacarosa 44%, agua 30%, lactosa 10%, proteína y grasa 7%, respectivamente, y cenizas 2% (Figura 1).

Figura 1. *Imágenes de una cajeta envinada, A) en flujo, B) en reposo.*

A) Cajeta en envase presionable, fluyendo.



B) Cajeta “envinada” en reposo.



La tecnología para la elaboración de cajeta está fundamentada en el manejo del azúcar, su principal ingrediente, lo que permite la obtención de una gama de consistencias o texturas, las cuales se logran regulando el estado de cristalización del azúcar y de la humedad. Por el contenido de humedad que conserva (12-30%), se le considera un alimento de humedad intermedia.

1.2 Principales defectos

La cajeta como producto lácteo y como cualquier producto alimenticio terminado, puede desarrollar algunos defectos que deben ser evitados a toda costa, para asegurar un alimento de calidad. Entre los defectos más frecuentes en este tipo de productos están:

1.2.1 Granulación de la cajeta

Se refiere a la existencia de grumos o gránulos en la cajeta y se presenta como consecuencia de alguno de los siguientes tres fenómenos fisicoquímicos [IDEAL, 2013]:

Precipitación de las proteínas relacionada a la acidez de la leche, por lo que solo se debería usar leche fresca con baja acidez (pH 6.6-6.8) en la elaboración de la cajeta. El ácido láctico natural de la leche aumenta su concentración debido al proceso de evaporación con lo cual el pH disminuye y con ello se presenta la posibilidad de alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína; esto puede generar la formación de grumos no cristalinos, que se expresa como una textura inadecuada, afectando la calidad de la leche. Una manera relativamente sencilla de evitar este defecto consiste en incorporar compuestos neutralizantes.

Precipitación de la lactosa. En este caso, la solución de lactosa existente en la cajeta alcanza la sobresaturación, lo que ocasiona el fenómeno de cristalización, resultando en una textura arenosa de la cajeta, más o menos fina en función del tamaño de cristales. El defecto ocasionado por la cristalización de la lactosa se diferencia del causado por la coagulación de proteínas, porque los grumos en este último son más o menos elásticos, blandos y gomosos; en el caso de los cristales de lactosa se forman cristales duros que son insípidos o con un sabor ligeramente dulce.

Este problema se puede eliminar si se estabilizan los cristales de lactosa; por un lado, al realizar el enfriamiento rápido de la cajeta a 40-45°C, posterior al cocimiento, o bien, asegurando que la temperatura se mantenga entre 40-45°C, para que el tamaño de los cristales sea muy pequeño o fino; también la adición de pequeños cristales (2-4%) que sirven de “núcleos o guías” lo favorece, así los cristales de lactosa no crecen.

Precipitación del azúcar. De manera semejante al problema anterior, cuando hay un exceso de azúcar por un mal balance en la formulación de cajeta, se pueden formar cristales de sacarosa, los cuales tienen la característica de ser más quebradizos y menos duros que los de lactosa. Para evitarlo, la cantidad o dosis de jarabe de glucosa debe ser controlada con precisión. Por otro lado, una dosificación correcta ayudará no solo a inhibir los cristales de sacarosa, sino los de lactosa también.

Existen empresas que ofrecen aditivos desarrollados y comercializados para evitar estas variantes del problema de formación de grumos/cristales en la cajeta.

1.2.2 Crecimiento de hongos

Otro de los problemas que se suele presentar en este producto lácteo es el crecimiento de hongos en la superficie, lo cual básicamente se debe a descuidos de higiene y limpieza, en las materias primas o en los utensilios, empleados o durante la etapa de envasado. La solución obviamente es asegurar que la limpieza de todos los elementos involucrados, incluida la atmósfera de procesamiento, sea impecable asegurando la ausencia de estos microorganismos, para evitar el empleo de sustancias anti fúngicas.

Debido a su elevada cantidad de azúcar, la cajeta es un producto altamente energético; y aunque la leche que contiene proporciona proteínas, se ha buscado elaborar una cajeta baja en calorías; este es uno de los desarrollos y estudios más comunes. En la actualidad, solo una parte de la producción de cajeta se elabora a partir de leche de cabra, y debido al aumento en el consumo, la mayor parte se elabora con leche de vaca o con mezclas de leche de cabra y vaca. En buena medida porque el volumen producido de leche de cabra es insuficiente para satisfacer la demanda, por un lado, y porque estos dos tipos de leche tienen cierta semejanza en su composición, como se puede apreciar en la Tabla 1; en general, la composición de la leche de varios mamíferos es relativamente semejante.

Tabla 1. *Composición en Porcentaje de la Leche de Algunos Mamíferos.*

Mamífero	Agua	Grasa	Proteínas	Caseína	Suero proteína	Lactosa	Cenizas
Burra	91,5	0,6	1,4	0,7	0,7	6,1	0,4
Cabra	86,8	4,5	2,9	2,5	0,4	4,1	0,8
Camella	86,4	4,5	3,6	2,7	0,9	5,0	0,7
Oveja	80,7	7,3	5,5	4,6	0,9	4,8	1,0
Vaca	87,8	3,4	3,4	2,8	0,6	4,7	0,7
Yegua	88,8	1,9	2,5	1,3	1,2	6,2	0,5

Adaptada de Chandan [2006]

En México, la ciudad de Celaya en el estado de Guanajuato, se conoce como “la capital mundial de la cajeta”, cuya fama se atribuye a una histórica visita de un personaje importante de la época (Maximiliano de Habsburgo), a esta ciudad en 1832; Maximiliano disfrutó la exquisitez de este producto y se llevó varias cajas de este dulce a la ciudad de México. El nombre de cajeta viene de las cajas de madera o “cajetes”, donde se colocaba o se guarda todavía, para diferenciarla de otros productos lácteos, y así transportarla desde el lugar de producción artesanal hacia los sitios de venta o consumo [Delgado y Gutiérrez, 2010].

2 Leche de cabra

La leche de cabra, como la de vaca, es un líquido de color blanco cremoso, ligeramente viscoso, cuya composición y propiedades fisicoquímicas son semejantes, pero cada una tiene sus propias características. Entre los factores que influyen en la composición y características fisicoquímicas se tienen la raza, la alimentación, la estación del año en que se ordeña, las condiciones ambientales y de ordeño, la localidad, el estado de lactación, y la condición saludable de la ubre [Park *et al.*, 2007; SAGARPA, 2011].

Dentro de la composición de la leche de cabra, cuyos componentes son comunes y están presentes en la leche de mamíferos destacamos: el contenido y la composición de la grasa es la variable más importante, en lo que se refiere al costo y características nutritivas, en la grasa el componente mayoritario (~98%) está constituido por los triglicéridos; además de fosfolípidos, diglicéridos, monoglicéridos y ésteres de colesterol. Los glóbulos de grasa de la leche de cabra tienen dos características distintivas, la mayor concentración (80%) y el menor tamaño (5 μm) en comparación con la leche de vaca, que tiene 60% y 100 μm , respectivamente. Características que le confieren propiedades particulares a esta leche de cabra, una condición de homogenización “natural” por su tamaño y distribución; una consistencia más suave por el menor tamaño y amplia distribución de los glóbulos, y una mayor digestibilidad y eficiencia metabólica que facilita la acción de las enzimas digestivas, por la presencia de ácidos grasos de cadena corta [Park *et al.*, 2007; Vélez-Ruiz, 2017]. Todas estas características o propiedades se asocian al sabor típico de la leche de cabra y de dos de sus productos más importantes, como los son la cajeta y el queso fresco [Ramírez-López y Vélez-Ruiz, 2014, 2016]. Aunado a lo anterior, a los ácidos grasos de cadena corta de la leche de cabra se le atribuyen propiedades conservadoras, antibacterianas y antivirales.

La lactosa en la leche de cabra, como en cualquier leche de mamífero, es el principal carbohidrato y representa cerca del 44% de los sólidos, aunque se encuentra en menor concentración (4.1%) que en la leche de vaca (4.7%). Los otros carbohidratos presentes en la leche de cabra son oligosacáridos, glicopéptidos, glicoproteínas y nucleótidos en pequeñas cantidades. Trabajos recientes mencionan que la leche de cabra contiene cuatro a cinco veces más carbohidratos complejos que la de vaca y diez veces más que la de oveja. La importancia de los oligosacáridos de la leche radica en su actividad prebiótica y sus propiedades anti-infecciosas [Jandal, 1996; Park *et al.*, 2007; Silanikove *et al.*, 2010].

Por otro lado, las proteínas como los nutrientes más importantes de la leche de cabra están formando dos fracciones, análogamente a la leche de vaca: caseínas que constituyen más del 80% de la proteína total y

la segunda fracción, la constituyen las suero-proteínas que constituyen el 13-17% complementario. Igualmente, que, en la leche de vaca, las caseínas están constituidas por micelas que están suspendidas y unidas entre sí por fosfato de calcio y pequeñas cantidades de minerales como magnesio y potasio; mientras que las proteínas séricas están en solución, debido a su alta solubilidad y menor complejidad estructural. Las caseínas se pueden precipitar de tres maneras, por acción química disminuyendo el pH (4.6-4.7) o aumentando la acidez; por tratamiento enzimático (quimosina o renina); o por centrifugación, en que la fuerza centrífuga supera las fuerzas de suspensión de la dispersión láctea. Por otro lado, las suero-proteínas son termo sensibles, por lo que un tratamiento térmico favorece su separación y precipitación. En la leche de cabra, se han reportado mayores concentraciones de seis de diez aminoácidos esenciales (treonina, isoleucina, lisina, cisteína, tirosina y valina) y dos aminoácidos libres (ácido glutámico y glicina); estos últimos pueden ser utilizados directamente por el intestino. Las proteínas de la leche de cabra son más digeribles que las de la vaca, debido a que forman una cuajada compacta, suave y más fracturable durante su acidificación en el estómago, lo que facilita la acción digestiva de las proteasas [Greppi *et al.*, 2008; Haenlein, 2004; Park y Haenlein, 2010; Park *et al.*, 2007; Vélez-Ruiz, 2017].

El contenido de minerales de la leche de cabra y oveja son ligeramente mayores a los de la leche de vaca, sobresaliendo sus altos contenidos de cloro y potasio y bajos niveles de sodio. Según las recomendaciones de la FAO, la leche de cabra aporta cantidades adecuadas de vitamina A y niacina, y un exceso de tiamina y riboflavina. Sin embargo, es deficiente en ácido fólico y vitamina B12, comparada con la leche de vaca, que son necesarias para la síntesis de hemoglobina en el humano, y su deficiencia puede causar anemia en infantes. La leche de cabra también es deficiente en piridoxina (B6) y vitaminas C y D [Lucas *et al.*, 2006; Park y Haenlein, 2010; Park *et al.*, 2007; Raynal-Ljutovac *et al.*, 2008].

Se puede concluir que la leche de cabra contiene una mayor proporción de ácidos grasos de cadena corta y media, que son de menor tamaño y no se aglutinan, resultando en su mejor digestión y absorción. El coágulo que se forma durante la digestión de la leche de cabra es

más suave y pequeño que el de leche de vaca, lo que facilita y hace más rápido dicho proceso. El menor contenido de lactosa y de un tipo de caseína, la hace una importante opción como alternativa a la leche de vaca en personas alérgicas a ésta. Y el hecho de que la leche de cabra haya sido la principal materia prima para la elaboración de cajeta en el pasado, yo la veo más ligada con la forma artesanal con la que se fabricó, y justamente su aumento en la demanda y su industrialización, están favoreciendo la combinación de leches de cabra y vaca o la sustitución con leche de vaca. Esto último no es exclusivo de un producto lácteo como la cajeta, también se está presentando en la fabricación/ industrialización de otros productos lácteos como el queso artesanal de cabra [Ramírez-López y Vélez-Ruiz, 2014, 2016].

3 Proceso de elaboración de cajeta

3.1 Principales tipos de cajeta

Existen diferentes tipos de cajeta; la quemada es la presentación tradicional de la cajeta, a la envinada se le añade alcohol en su preparación, a la de sabor vainilla se agrega vainilla en la preparación. En la actualidad, si bien se siguen empleando “cajetes”, se está envasando en recipientes de vidrio y plástico, que son los más utilizados (Figura 2).

Figura 2. Ejemplos de presentaciones de cajeta, envasada en vidrio y plástico.



Fuente: <https://goo.gl/oExSMx>

Además de leche y azúcar, se suele agregar glucosa, que favorece la formación de las redes cristalinas de la sacarosa, lo que permite controlar la cristalización de la misma en bajas cantidades, ayuda a mejorar el brillo y a aumentar la vida de anaquel del producto terminado. El bicarbonato de sodio, es un ingrediente que se utiliza en bajas cantidades con el objetivo de evitar la coagulación de las proteínas. Durante el proceso de elaboración el agua se va evaporando; y como el ácido láctico también se va concentrando, se debe tener un buen control para evitar la precipitación de las proteínas. Cuando se elabora cajeta, se deben controlar tanto el peso de los ingredientes, como los tiempos de las diferentes etapas de proceso, ya que son determinantes para lograr una cajeta de calidad. Una relación básica y del dominio público, está integrada por la siguiente relación de ingredientes: 100 L de leche de cabra, 20 kg de azúcar comercial, 15 kg de glucosa y 75 g de bicarbonato de sodio [SAGARPA, 2011].

3.2 Operaciones Básicas

Recepción de la leche de cabra, con el objetivo de cuantificar el volumen o la masa que permitirá formar el lote correspondiente; adicionalmente se puede realizar un muestreo para la determinación de las propiedades importantes de la leche, tales como la acidez, el conteo microbiano, la humedad, el pH y el porcentaje de grasa, entre otras, las cuales se pueden realizar ya sea por medio de métodos cortos o estándares. En particular la acidez se puede considerar como la determinante más importante, por el rol que juega en la estabilidad de la cajeta y en la cantidad de neutralizante a adicionar.

Filtración de la leche para eliminar cuerpos extraños e impurezas (pelos, basura). Esta operación puede realizarse durante el vertido de la leche, o cuando la leche se bombea/transporta hacia la siguiente operación, o bien en ambas oportunidades.

Calentamiento y evaporación. La leche se va calentando lentamente y se le agrega el bicarbonato de sodio (previamente disuelto en un volumen determinado de leche), hasta ~ 93°C (en Puebla, México), se alcanza el punto de ebullición (la cual depende de la presión at-

mosférica existente en el sitio de elaboración), después de cierto tiempo (alrededor de 10 min), se agrega el azúcar lentamente, evitando la formación de “costra”, como consecuencia de un sobrecalentamiento o de una agitación y mezclado inadecuados. La costra es el material que resulta por el sobrecalentado, quemado o adherido de la leche, a la superficie del equipo calentador, y que actuará como resistencia adicional o aislante, reduciendo la penetración del calor al interior del tanque, recipiente o marmita. Después de que el azúcar se disuelve perfectamente, se agrega la glucosa lentamente. Es muy importante que en este proceso de “cocimiento” a 100°C (a nivel del mar), la agitación sea constante en el tanque con chaqueta de vapor. Durante esta etapa todos los aspectos de una buena transferencia de calor, se deben cuidar y cumplir, ya que es de fundamental importancia para controlar las características de la cajeta que se esté elaborando; de excederse el proceso de concentración, la calidad del producto no será la mejor, aparte de que los rendimientos se reducen. En caso contrario, la falta de calentamiento o concentración contribuye a generar un producto diluido o fluido, sin la consistencia deseada. Además, al agitar la mezcla se favorece el proceso de convección térmica y por ende la evaporación y concentración de la leche o mezcla de leches.

El control del proceso se puede realizar teniendo en cuenta el tiempo de calentamiento o de evaporación con base a la cantidad de agua evaporada, o bien por determinación del nivel de sólidos solubles con un brixómetro (medidor de sólidos solubles o grados Brix) o refractómetro (medidor del índice de refracción), determinación de humedad con alguna balanza especializada, o por determinación de propiedades como la viscosidad con un viscosímetro o reómetro, o bien por la determinación de la densidad con densímetros específicos. Existen algunas pruebas empíricas, por ejemplo, una de ellas consiste en dejar caer una gota de la cajeta/mezcla en un vaso con agua para ver si llega al fondo sin disolverse, si la gota llega integra al fondo indica que se debe retirar el calentamiento, y si la gota no lo hace, entonces el calentamiento debe continuar unos minutos más. Se recomienda, como una práctica de la experiencia, dejar hervir la mezcla hasta que se reduzca a la tercera parte del volumen original; a partir de ese momento se debe realizar la adición de la leche restante, calentada previamente. Teóricamente la cajeta estará lista cuando se

alcancen 76-78°Bx, aunque eso depende del tipo de cajeta que se está elaborando y las particularidades de la empresa que la elabora. Las dos características más importantes y que se desarrollan en esta etapa son el desarrollo de la consistencia o textura y el color. El color en particular, es el resultado de tres tipos de reacción, la de Maillard, la de caramelización y las de oxidación [Greppi *et al.*, 2008; Park y Haenlein, 2010; SAGARPA, 2011; Vélez-Ruiz, 2017].

Terminada la concentración se interrumpe el calentamiento y se continúa agitando el dulce o mezcla líquida, cuyo comportamiento al flujo como material de carácter *newtoniano* o no *newtoniano* va a depender de la temperatura y de la concentración de sólidos; posteriormente se lleva a cabo un enfriamiento hasta que llegar a 60°C. De esta manera se deja salir el vapor de la mezcla, lo que permite la uniformidad característica y evita la apariencia de cortado. El tiempo total de esta etapa, citada comúnmente como *cocción* o *cocimiento*, oscila entre 2 y 3 horas. Se recomienda realizar un tamizado del dulce o mezcla caliente, haciéndolo pasar a través de una tela metálica, para separar los grumos que puedan haberse formado durante la cocción. Por último, se adicionan el sabor, color, alcohol o vainilla.

Después del tratamiento térmico, se transporta el producto al área de *envasado*. Las operaciones de llenado o envasado también tienen características particulares, dependiendo del tipo de cajeta y la compañía o empresa que la produce, ya sea un envasado tradicional con o sin tratamiento térmico final o un envasado aséptico que asegura la esterilidad de los envases; en el proceso tradicional, se envasa la cajeta en frascos de vidrio, con tapa de hojalata en condiciones de vacío. Se transporta la cajeta hacia el área de reposo, para que el producto se enfríe.

Posteriormente el producto se transporta al área de *etiquetado* y *empaquetado*, donde se etiqueta el producto lácteo con ayuda de una máquina etiquetadora e inmediatamente los envases se van depositando en cajas, para realizar el transporte de las cajas al almacén.

Durante su almacenamiento en planta y antes de que se liberen los lotes de cajeta, se llevan a cabo tanto pruebas fisicoquímicas como microbiológicas de calidad, en la cajeta y en el envase [Vélez-Ruiz, 2017].

4 Desarrollo de productos análogos a la cajeta

Probablemente existe un numeroso grupo de estudios relacionados con la cajeta, sin embargo, hay pocos trabajos reportados en revistas científicas. Los estudios realizados, por sentido común, han estado orientados a analizar alguno de los siguientes aspectos: i) sustitución parcial o total de la leche de cabra, empleando mezclas de leche, según la zona/región de México, o el empleo de leche de vaca como materia prima; ii) la sustitución de ingredientes como el azúcar y la glucosa, debido a que la cajeta es un alimento muy calórico, ya sea por medio de edulcorantes, otros carbohidratos o con alimentos naturales como la miel; adicionalmente iii) se han investigado los efectos de cambiar las condiciones del proceso o la incorporación de otros ingredientes, que contribuyen al color del producto. A continuación, se presentan las ideas centrales de los pocos trabajos que han sido reportados y a los cuales pude acceder.

Se desarrolló un trabajo por García [1999] en donde se elaboró cajeta con leche de vaca, estudiando tres diferentes niveles de acidez inicial (11, 13 y 15 grados Dornic, °D), y evaporando a tres concentraciones (65, 70 y 75°Bx), para evaluar la textura y el color de los productos desarrollados y del testigo (cajeta comercial). Se determinó la dureza y la adhesividad mediante un análisis de perfil de textura, así como los parámetros de color L^* , a^* y b^* (ver capítulo 9); del análisis de resultados y comparación de valores, el autor concluyó que la cajeta preparada con *una acidez inicial de 11°D y una concentración de sólidos solubles de 70°Bx, se consideró como la mejor combinación de variables de estudio para elaborar cajeta con leche de vaca, que fue la más análoga a la cajeta comercial.*

En otro estudio reportado por Flores *et al.* [2008], se desarrolló una cajeta baja en carbohidratos, a la cual se adicionó un conservador para alcanzar una vida de anaquel de 9 a 12 meses. Se utilizaron dos formulaciones, que fueron seleccionadas por los autores con base a las mejores propiedades organolépticas; la cajeta “14” elaborada con base en fructuosa, glucosa y miel de maíz y la cajeta “16” elaborada con base en de fructuosa y miel de maíz, con actividades de

agua controladas de 0.81 en la primera y 0.82 en la segunda, con un contenido de carbohidratos totales de 165.78 g y 157.56 g respectivamente, en 290 g de producto.

La preparación de las muestras de cajeta, se realizó siguiendo el procesamiento tradicional, agregando los azúcares y la miel por separado, y cuidando la buena distribución de los ingredientes y su homogenización por medio de una agitación constante. Como una parte importante del trabajo, se probaron tres conservadores (ácido cítrico, sorbato de potasio y benzoato de sodio), los cuales se adicionaron en diferentes concentraciones; *el benzoato de sodio resultó como mejor conservador para la cajeta baja en carbohidratos*. Se realizaron determinaciones de actividad de agua ($A_w > 0.57$), color, conteo microbiano, humedad y pH (4-5.5) de la cajeta, buscando correlacionar la A_w y el contenido de humedad con en el desarrollo de microorganismos a lo largo del estudio. Adicionalmente, se evaluó la aceptación sensorial de las muestras elaboradas, durante 23 días [Flores *et al.*, 2008].

Ortiz y Silva [2006] llevaron a cabo un trabajo de investigación, desarrollando una *cajeta reducida en calorías elaborada con miel de agave y diferentes concentraciones de fructosa*, como una respuesta a la preocupación que existe en materia de salud pública la obesidad en la población. En este caso utilizaron la determinación de la viscosidad (7216-40400 cP) y el nivel de agrado (escala hedónica en porcentaje, 30-65%) como criterios de decisión o parámetros fundamentales. También realizaron conteos microbianos y determinaciones de cenizas, grasa, humedad y proteínas, por medio de métodos de referencia (normas técnicas), y calculando los carbohidratos por diferencia. La industria alimentaria se ha preocupado por ofrecer productos menos calóricos o *light*, que son productos modificados en su composición de tal manera que su contenido de grasa sea menor y/o reducidos en calorías.

En este trabajo, se realizaron varias pruebas preliminares y se seleccionaron las concentraciones de 3 y 6% de fructosa y 10% de miel de agave, para lo cual generaron formulaciones de cajeta con una buena apariencia, sabor, color y olor característicos, así como una

consistencia deseada. Para la medición de la viscosidad se utilizó un viscosímetro Brookfield modelo DVI+ (el cual se operó a 100 rpm durante 30 seg), se utilizó la aguja número 7 y la temperatura se mantuvo entre 24 y 26°C; por lo que la viscosidad experimental representa una viscosidad aparente o bien una viscosidad puntual. Con los resultados de composición, *lograron decrecer el nivel calórico de 358 a 263 kcal/100 g con la formulación de cajeta con 6% de fructosa*. Sin embargo, la viscosidad de las cajetas elaboradas con fructosa fue significativamente menor que la tradicional. Se alcanzaron excelentes condiciones microbiológicas, por lo que se garantizó una vida de anaquel equivalente al de la cajeta tradicional [Ortiz y Silva, 2006].

Más recientemente Vera-López *et al.* [2017], desarrollaron una cajeta o dulce de leche, con el objetivo de formular un postre para personas diabéticas y obesas, bajo en calorías/azúcares. Emplearon leche descremada, adicionada con inulina (20 y 25%), edulcorante (stevia) y colorantes vegetales, realizando el calentamiento y concentración a 70°C. Al producto obtenido se le analizaron las composiciones química y microbiología, así como una evaluación sensorial con panelistas no entrenados; además se determinó el índice glicémico. Con base a los resultados obtenidos, concluyeron que se *desarrolló un producto (20% de inulina, 26% de humedad, entre otros componentes) con buena aceptación sensorial*, que no mostró diferencias significativas con respecto a una cajeta comercial, en cuanto a la apariencia, el color, el olor y sabor, así como la textura. Reportaron un bajo índice glicémico (19.56) y una calidad microbiológica satisfactoria, para lograr una vida de anaquel de tres meses.

5 Utilización de cajeta y desarrollo de alimentos

El uso de la cajeta es muy amplio, si bien tradicionalmente se consume en forma directa, este producto lácteo puede ser empleado de una manera muy variada, ya sea como complemento de cualquier postre o fruta, como ingrediente en la elaboración de helados, panes, rellenos de panes y pasteles, o simplemente adicionada a *hot cakes* y *waffles*, entre otros.

Reconociendo las propiedades viscoelásticas de este producto, su buen valor nutricional, su elevado aporte energético y sobre todo, sus características organolépticas tan atractivas, así como la limitante calórica en sus consumo para cierto grupo de personas. Se pensó en realizar estudios formales, relacionados con la *incorporación de cajeta en otros alimentos*, contribuyendo a la innovación o desarrollo de nuevos alimentos, por lo que *se seleccionaron las bebidas y los postres lácteos* como elementos de complemento [Ramírez-Sucre, 2009; Ramírez-Sucre *et al.*, 2014; Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2009]. A continuación, se presentan las características e ideas fundamentales de tres estudios científicos, uno con una bebida láctea, otro con yogur como bebida fermentada y el tercero, con una natilla, en el que la incorporación de cajeta en diferentes niveles, contribuyó a generar tres nuevos productos con propiedades muy particulares.

Con el objetivo de diversificar los sabores existentes en bebidas lácteas no fermentadas y de modificar sus propiedades fisicoquímicas y de flujo, Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz [2011], formularon y analizaron una *bebida láctea sabor cajeta*. Se prepararon las bebidas de acuerdo a un diseño experimental de tipo Box Behnken (BB), con tres variables de estudio, tipo de leche (o cantidad de grasa: 0.18, 1.67 y 3.16% p/p), nivel de cajeta (o de *flavor*: 8, 10 y 12% p/p) y concentración de goma carragenina (0, 0.02 y 0.04% p/p). Las quince bebidas preparadas o sistemas, indicados por el tipo de diseño experimental BB, que mostraron variaciones como consecuencia de la formulación y que fueron analizados durante tres semanas de almacenamiento, determinando propiedades como la acidez (1.44-1.7 g/L), el color (parámetros a, b y L), la densidad (1049-1089 kg/m³), las propiedades de flujo, la humedad (82.4-88.4%) y el pH (6.36-

6.52). La densidad y la humedad de las bebidas se mantuvieron estables durante el almacenamiento en contraste a la acidez, el color, el pH y las propiedades de flujo. El cambio neto de color como parámetro global, mostró el siguiente rango de valores, de 1.14 a 2.83, lo que expresó la estabilidad de color de las bebidas de cajeta.

La leche saborizada mostró una naturaleza no newtoniana, con presencia de un esfuerzo de cedencia bajo, por lo que se ajustó al modelo de Herschel y Bulkley, correspondiendo a la goma utilizada un efecto significativo en la respuesta al flujo. El índice de comportamiento al flujo (n) mostró un incremento con respecto al tiempo de almacenamiento en 11 de las 15 bebidas; respuesta contraria, se registró para el coeficiente de consistencia (K) en 8 de 15 y para el esfuerzo de cedencia (t_0) en 10 de 15 sistemas, respectivamente. Y como relaciones prácticas se generaron los diagramas y las ecuaciones correspondientes por la metodología de superficie de respuesta, para expresar las propiedades de flujo en función de las variables estudiadas, las cuales se expresan enseguida [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2011]:

$$n = 0.9537 - 11.7003 B - 0.0035 D + 84.2857 B^2 + 0.1445 B D \quad (R^2 = 0.75) \quad (1)$$

$$K = 41.4 - 5.1 A + 1485.9 B + 24.2 C - 3.7 D + 20265.7 B^2 - 6.2 C^2 + 0.4 A D \quad (R^2 = 0.88) \quad (2)$$

$$t_0 = -113 + 13 A - 2753 B - 10 C + 12 D + 135559 B^2 - 1 A D + 1552 B C \quad (R^2 = 0.89) \quad (3)$$

Donde: n es el índice de flujo (adimensional), K es el coeficiente de consistencia (mPa s^n), t_0 es el esfuerzo de cedencia (mPa), A es el contenido de cajeta (8, 10 o 12% p/p), B es el contenido de carragenina (0, 0.02 o 0.04% p/p), C es contenido de grasa (0.18, 1.67 y 3.16% p/p) y D es el tiempo de almacenamiento (días, particularmente 1, 8, 15 o 22).

Por otro lado, la evaluación sensorial indicó que las bebidas, como se esperaba, fueron bien aceptadas, con niveles de aceptación en una escala hedónica (1-10) de 6.2-7.5 para el *flavor*, de 6.4-7.9 para la aceptabilidad global, de 6.4-7.8 para la consistencia y de 6.9-8.0 para el color, que fueron resultados de aceptabilidad directamente relacionados al nivel de

cajeta presente en la formulación de la bebida sabor cajeta [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2011].

Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz [2013] continuaron analizando la influencia de la cajeta como ingrediente en los productos lácteos, por lo que desarrollaron y analizaron *su incorporación en un yogur bebible*. En este estudio, se siguió un diseño experimental factorial semejante al utilizado en la bebida saborizada con cajeta, con tres niveles de grasa (0.2, 1.7 y 3.6% p/p), ausencia o presencia de carragenina (0.2% p/p) y concentración de cajeta (10.0, 12.5 y 15.0% p/p). Se prepararon, siguiendo un diseño factorial (3 x 2 x 3), 18 sistemas de yogur con cajeta y un control con 3.2% de grasa, sin goma y sin cajeta, realizando los análisis fisicoquímicos (acidez, color, humedad, pH, sinéresis y sólidos solubles) y reológicos a lo largo de cuatro semanas de almacenamiento; estas cambiaron en función tanto de la formulación como del almacenamiento. La acidez del yogur fresco fue de 0.45-0.63 g/100 g de yogur, mientras que la luminosidad fue > 68, en un rango de humedad de 80.6 a 84.8%, con un pH entre 4.5 y 4.9, una sinéresis > 48% y con una gama de 12.5-20.4% de sólidos solubles. Aunque la respuesta del comportamiento no *newtoniano* fue bien ajustada al modelo de Herschel y Bulkley, en esta bebida fermentada, la grasa se constituyó en el factor crítico en su flujo, aumentando el esfuerzo de cedencia y el coeficiente de consistencia. Similarmente a la bebida con sabor a cajeta, se registró un aumento en el coeficiente de consistencia y en el esfuerzo de cedencia con el tiempo de almacenamiento, y un decremento en el índice de flujo. Por otro lado, las pruebas dinámicas mostraron la estructura de gel débil de este producto lácteo, el módulo viscoso (G'') resultó superior al módulo de elasticidad (G').

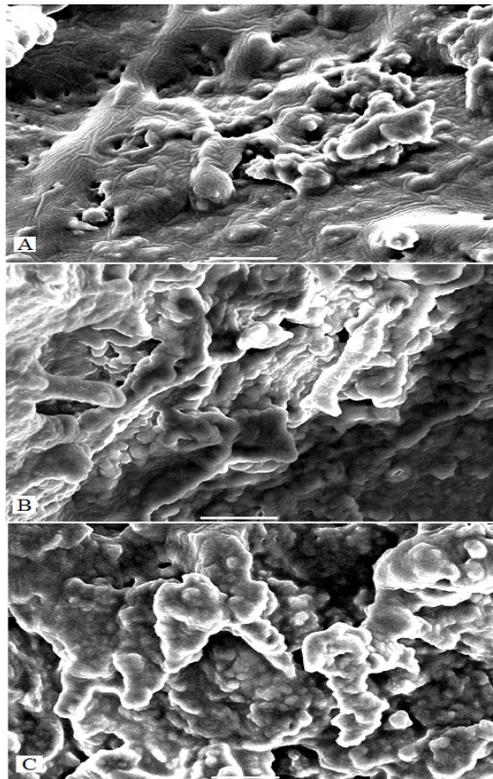
Se llevaron a cabo observaciones microscópicas de algunos sistemas de yogur con cajeta en un microscopio electrónico, observando que la microestructura del yogur consistió de una red tridimensional de agregados de micelas de caseína con una forma globular con espacios huecos donde está inmerso el suero. Algunos de los detalles de esta bebida fermentada con sabor a cajeta, se pueden apreciar en la Figura 3.

Se aprecia que el aumento de cajeta contribuye a una red estructural con mayor número de agregados (Fig. 3C), la Fig. 3B resulta ser una red tridimensional intermedia, entre la Fig 3A con bajo contenido

de grasa y la 3C que posee los niveles altos tanto de grasa como de cajeta [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2013].

Mientras que la bebida saborizada y el yogur agitado con cajeta, son dos productos lácteos de naturaleza líquida o semilíquida, una natilla es un producto lácteo de carácter sólido o semisólido; por lo que Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz [2014] completaron otra investigación, formulando *natillas sabor cajeta*. Se siguió un esquema semejante para conocer el efecto de la formulación y el tiempo de almacenamiento en las propiedades de la natilla.

Figura 3. Microestructura del yogur con diferentes concentraciones de cajeta y grasa, sin goma: (A) yogur con 0.2% de grasa y 15% de cajeta, (B) yogur con 3.2% de grasa y 10% de cajeta, (C), yogur con 3.2% de grasa y 15% de cajeta. La barra de escala denota 50 μm de longitud (350X).



El diseño experimental incluyó tres factores, cada uno con tres niveles, la concentración de almidón de maíz (3, 4, 5% p/p), de cajeta (8, 9, 10 % p/p) y de proteína de suero (4, 5, 6% p/p). El efecto de cada variable de estudio fue diferente y particular sobre las propiedades de flujo y fisicoquímicas. La acidez y la humedad resultaron influenciadas por la formulación, la acidez aumentó con la proteína y la cajeta, la luminosidad disminuyó con la cajeta, mientras que la sinéresis disminuyó con el almidón y la cajeta. Por otro lado, la humedad se mantuvo estable (75-86% en las muestras frescas, 76-85% en las muestras almacenadas tres semanas), mientras que el pH (6.45-6.84 en las muestras frescas, 6.39-6.81 en las muestras almacenadas tres semanas) y la luminosidad decrecieron, a diferencia de la acidez (0.18-0.23 g/L en las muestras frescas, 0.14-0.22 g/L en las muestras almacenadas tres semanas), grado de amarillo y de rojo que aumentaron con respecto al almacenamiento.

Análogamente a los otros dos fluidos lácteos (bebida y yogur sabor cajeta) el comportamiento no *newtoniano* se hizo patente en la *tixotropía de las natillas*; se cuantificó el área bajo la curva y se ajustó a dos modelos, el de Herschel y Bulkley para la curva de flujo ascendente (índice de flujo: 0.19-0.66, coeficiente de consistencia: 8-247.9 Pa·sⁿ y esfuerzo de cedencia: 9-126 Pa, para las propiedades de flujo de las natillas frescas) y el de plástico de Bingham para la curva de flujo descendente (esfuerzo de cedencia: 0.4-93.3 Pa y viscosidad plástica: 1.5-25.1 Pa·s, para las propiedades de flujo de las natillas frescas). La consistencia de las natillas aumentó con la incorporación de mayor concentración de componentes y disminuyó durante el almacenamiento, como resultado de los cambios estructurales del gel [Ramírez-Sucre y Vélez-Ruiz, 2014].

6 Comentarios Finales

En este capítulo queda manifiesta la situación existente entre la producción industrial y el conocimiento científico de un producto lácteo como es la cajeta; por un lado, la industria ha desarrollado lo necesario y sigue innovando este producto para producir un alimento de gran aceptabilidad y consumo; y por otro la investigación científica, que ha realizado pocos estudios técnicos y cuya difusión es limitada. Una innovación reciente, que a mi juicio es de enorme utilidad lo constituye la cajeta fluida o *squeezable*, que ha venido a resolver una problemática de consumo de la cajeta, ya que su dureza o gran viscosidad representaba una restricción muy grande para el consumo e incorporación de este producto lácteo en otros alimentos. Sin embargo, hay muy poca información científica publicada al respecto.

Esta situación en la cajeta y otros alimentos, representa la prevalencia de los valores materiales y la escasez de los valores científicos; existe por lo tanto mucho camino por recorrer para los jóvenes interesados en la Ciencia de los Alimentos, y también mucha experimentación científica por completar y que necesariamente deberá ser publicada en documentos formales, ya sea como artículos en revistas científicas o como información ilustrativa en libros técnicos especializados, para el conocimiento de la gente interesada.

Referencias bibliográficas

- CHANDAN, R.C. History and consumption trends. En: CHANDAN, *et al.* *Manufacturing yogurt and fermented milks*. Oxford, Inglaterra.: Blackwell Publishing Ltd., 2006, p. 3-16.
- DELGADO, M. Y GUTIÉRREZ, V. Un mercado para la cajeta mexicana. Tesis de Tesina de Licenciatura en Ingeniería Industrial. México, D.F., México: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- DGN. Alimentos para uso humano. Alimentos regionales. Cajeta de leche. En: *Normas Mexicanas*. Bogota, Colombia Dirección general de normas, 1985, vol. Norma Mexicana NMX-F-480-1985.
- FLORES, M.R., AGUILAR, M.J., MÉNDEZ, M.C., ELTON, E., OROZCO, E., RODRÍGUEZ, I. Y OLMOS, J.L. *Elaboración de una cajeta baja en carbohidratos (utilizando diferentes conservadores)*. Estudio Interno. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro, 2008.
- GARCÍA, R. Evaluación de las características de textura y color en cajeta de leche de vaca. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Industrial. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo, Ingeniería Agroindustrial, 1999.
- GREPPI, G.F., RONCADA, P. Y FORTIN, R. Protein components of goat's milk. En: CANNAS, PULINA Y FRANCESCONI. *Dairy Goats Feeding and Nutrition*. CABI, 2008, p. 71-94.
- HAENLEIN, G.F.W. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 2004, vol. 51, no. 2, p. 155-163.
- IDEAL *Elaboración de Cajeta*. Boletín Técnico. México: Ingeniería y Desarrollo Alimentario, 2013.

INAES *Guía Empresarial. Estudio de Mercado de Cajeta*. México: Instituto Nacional de la Economía Social. Gobierno de México, 2007. 193 p.

JANDAL, J.M. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 1996, vol. 22, no. 2, p. 177-185.

LUCAS, A., ROCK, E., CHAMBA, J.-F., VERDIER-METZ, I., BRACHET, P. Y COULON, J.-B. Respective effects of milk composition and the cheese-making process on cheese compositional variability in components of nutritional interest. *Le Lait*, 2006, vol. 86, no. 1, p. 21-41.

ORTIZ, T.B. Y SILVA, J.M. Evaluación de la viscosidad y nivel de agrado de cajeta reducida en calorías elaborada con miel de agave y diferentes concentraciones de fructosa. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Químico en Alimentos. Gómez Palacio, Dgo. México: Universidad Juárez del estado de Durango, 2006.

PARK, Y.W. Y HAENLEIN, G.F.W. Milk production. En: SOLAIMAN. *Goat science and production*. Ames, Iowa, E.U.: Wiley-Blackwell, 2010, p. 275-292.

PARK, Y.W., JUÁREZ, M., RAMOS, M. Y HAENLEIN, G.F.W. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small ruminant research*, 2007, vol. 68, no. 1, p. 88-113.

RAMÍREZ-LÓPEZ, C. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Caracterización fisicoquímica, textural, reológica y sensorial de quesos tipo Panela elaborados con mezclas de leche de cabra y vaca. En: *CIBIA 9 P-91, Noveno Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos*, Valencia, España, 13 al 16 Enero, 2014.

RAMÍREZ-LÓPEZ, C. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Aislamiento, caracterización y selección de bacterias lácticas autóctonas de leche

y queso fresco artesanal de cabra. *Revista Información Tecnológica*, 2016, vol. 27, no. 6), p. 115-128.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Efecto de la Concentración de Distintos Ingredientes en las Propiedades Fisicoquímicas, Reológicas y Sensoriales de Productos Lácteos y Lácteos Simulados. Tesis Doctoral. Cholula, Puebla. México: Universidad de las Américas Puebla, 2009.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O., TÁRREGA, A., COSTELL, E. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Dessert models: Effect of calcium chloride on the rheological and sensory properties of pea protein/k-carrageenan systems. *European International Journal of Science and Technology*, 2014, vol. 3, no. 4, p. 69-86.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Efecto de la incorporación de estabilizantes en la viscosidad de bebidas lácteas no fermentadas. *Revista Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. Universidad de las Américas, Puebla, 2009, vol. 3, no. 2, p. 4-13.

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. The physicochemical and rheological properties of a milk drink flavoured with cajeta, a Mexican caramel jam. *International Journal of Dairy Technology*, 2011, vol. 64, no. 2, p. 294-304. 10.1111/j.1471-0307.2010.00657.x

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, vol. 51, no. 1, p. 233-241. 10.1016/j.lwt.2012.09.014

RAMÍREZ-SUCRE, M.O. Y VÉLEZ-RUIZ, J.F. Effect of formulation and storage on physicochemical and flow properties of custard flavored with caramel jam. *Journal of Food Engineering*, 2014, vol. 142, p. 221-227. 10.1016/j.jfoodeng.2014.06.013

- RAYNAL-LJUTOVAC, K., LAGRIFFOUL, G., PACCARD, P., GUILLET, I. Y CHILLIARD, Y. Composition of goat and sheep milk products: An update. *Small Ruminant Research*, 2008, vol. 79, no. 1, p. 57-72. 10.1016/j.smallrumres.2008.07.009
- SAGARPA *Técnicas para la transformación de leche de cabra en zonas marginales*. Zacatecas, Zacatecas, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2011. 176 p.
- SILANIKOVE, N., LEITNER, G., MERIN, U. Y PROSSER, C.G. Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*, 2010, vol. 89, no. 2-3, p. 110-124. 10.1016/j.smallrumres.2009.12.033
- VÉLEZ-RUIZ, J.F. *Apuntes de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (Lácteos)*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla, Inéditos, 2017.
- VERA-LÓPEZ, O., ÁVILA-SOSA, R., MORENO-HERNÁNDEZ, M.A., LAZCANO-HERNÁNDEZ, M.A., PÉREZ-FERNÁNDEZ, S., AGUILAR ALONSO, P. Y NAVARRO-CRUZ, A.R. Desarrollo de un postre lácteo (tipo cajeta) sin azúcar añadido y bajo índice glicémico. *Revista Alimentos Hoy*, 2017, vol. 25, no. 42, p. 18-29.