

# Propiedades funcionales de los quesos

Juan Sebastián Ramírez-Navas

Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería de Alimentos - Ciudad Universitaria Meléndez. Cali, Colombia.  
juan.sebastian.ramirez@correounivalle.edu.co



El queso es empleado como ingrediente en la preparación de una amplia gama de platos en el hogar o en sectores de catering y de comidas preparadas en el sector industrial<sup>[11]</sup>. Las propiedades funcionales (PF) de los quesos son un conjunto de indicadores que permiten cuantificar sus requisitos de desempeño. De alguna manera, las PF se relacionan con las expectativas o la percepción que el consumidor tiene respecto al producto. Se determinan por la función que el queso cumplirá en el alimento en el que se utiliza. Para cuantificarlas se han diseñado diversas pruebas. Durante la última década las PF han adquirido mayor relevancia<sup>[20, 6, 7, 30, 51]</sup>.

Por ejemplo, en el caso de la manufactura de sándwiches o hamburguesas se requiere queso en fetas, lo que implica una operación posterior al moldeo, que es el feteado o tajado de los bloques de queso. Pero esta operación debe proveer tajadas de un mismo grosor, por lo que el queso debe tener un grado de firmeza que permita que el equipo realice cortes perfectos, que el queso no se desintegre o aglomere al momento de cortarlo, y que al ser colocadas en el alimento no pierdan su integridad. Esta PF es conocida como "feteabilidad" o "tajabilidad" (sliceability). Así, dependiendo de lo que se desee analizar, han surgido en los últimos años diversas PF.

Varias revisiones específicas e integrales se han realizado sobre esta temática<sup>[52, 10, 12, 18, 49]</sup>. En este

El queso es empleado como ingrediente en la preparación de una amplia gama de platos, en los cuales debe cumplir ciertas funciones. Esto origina la necesidad de cumplir con determinadas propiedades funcionales para responder a las expectativas o la percepción que los consumidores tienen del producto. En la actualidad existen diversas metodologías para cuantificarlas.

documento se presenta una revisión bibliográfica de algunas de las principales PF de los quesos y se hace un especial énfasis en los de pasta hilada.

## Medición de la funcionalidad

Hay muchos métodos para medir las propiedades funcionales de los quesos, desde los subjetivos a los objetivos y de los básicos a los complejos. Pero existen limitaciones en estas metodologías. Por una parte, las condiciones en las que se efectúan los análisis afectan los resultados de los métodos subjetivos<sup>[41]</sup>, por otra, los métodos objetivos empleados son muy complejos, generalmente implican mediciones reológicas<sup>[19]</sup> de parámetros específicos que no siempre se hallan directamente relacionados con la percepción del consumidor. Estas técnicas han sido motivo de recientes y profundas revisiones<sup>[52, 12, 59]</sup>.

## Clasificación de las propiedades funcionales

Usualmente el queso empleado como ingrediente en alguna preparación alimenticia debe cumplir una o más funciones<sup>[11]</sup>, las cuales pueden clasificarse arbitrariamente en PF del queso antes del calentamiento y PF del queso inducidas por el calentamiento. A continuación se describen varias de las PF empleadas industrialmente para caracterizar quesos.

### Propiedades funcionales del queso antes del calentamiento

Diversos quesos se comercializan en forma de bloques que pesan entre 2 a 10 kg, como por ejemplo el queso doble crema, quesillo, queso mozzarella, queso para pizza, entre otros. Estos quesos antes de ser utilizados como ingrediente en la elaboración de alimentos deben ser procesados: feteados, triturados, rallados, o simplemente cortados en cubitos. La manera en la que estos quesos responden a estas operaciones depende en gran medida de sus PF antes del calentamiento. Las PF más importantes dentro de este grupo son:

- Rallabilidad gruesa (Shreddability)
- Feteabilidad o tajabilidad (Sliceability)
- Rallabilidad fina (Gratability)
- Extensibilidad (Spreadability)
- Migosidad o desmigajado (Crumbliness)

**Rallabilidad gruesa (Shreddability).** El queso rallado es ampliamente utilizado por consumidores y fabricantes. El rallado permite una rápida fusión del queso, en comparación con otros métodos de reducción de tamaño, tales como corte y tajado<sup>[1, 42, 5]</sup>. En la industria, el término "rallabilidad gruesa" se utiliza en referencia a varias características funcionales importantes, así la rallabilidad es la capacidad<sup>[18]</sup>: a) para cortar limpiamente en tiras largas y delgadas de dimensiones uniformes (por lo general de forma cilíndrica, 2,5 cm de largo, 0,6 cm de diámetro); b) baja susceptibilidad a la fractura o la formación de "polvo" durante el rallado; c) para resistir el pegado o la aglutinación durante el rallado, o cuando se empaqueta libremente; y, d) con que se procesa el bloque de queso a través de una máquina ralladora (también conocido como "machinability"). En la figura 1 es posible observar queso Mozzarella que ha sido rallado.

Los problemas relacionados con la rallabilidad pueden ocurrir cuando el cuerpo del queso es suave y pastoso o húmedo, causando que la máquina ralladora se obstruya con queso y dé lugar a fragmentos con bordes irregulares y geometría deformada, junto con la formación de bolas de queso o finos. También es probable que el queso rallado se someta a excesiva fragmentación, haciendo difícil su manejo, almacenamiento y aplicación de manera uniforme en el producto en el que se utiliza, sin la precisión necesaria de porciones controladas. En el extremo opuesto, el queso que es excesivamente firme y seco, como suele ser el caso del queso mozzarella bajo en grasa, puede tomar más tiempo para procesar a través de la máquina ralladora y fracturarse en exceso para producir tiras rotas y exceso de finos, que también hacen que el control y manejo de la porción sea más difícil<sup>[24, 30]</sup>.

Algunos quesos que muestran esta propiedad son: Mozzarella de baja humedad, queso tipo Suizo, Gouda, Cheddar (edad medio-joven), Provolone, algunos quesos procesados (PCP) y algunos quesos análogos (ACP)<sup>[18]</sup>.



Figura 1 - Queso Mozzarella rallado (Shredded Mozzarella cheese)



Figura 2 – Quesillo feteado

Childs *et al.* (2007) presentan una metodología para determinar subjetivamente la rallabilidad gruesa.

**Feteabilidad (Sliceability).** Es la capacidad<sup>[18]</sup>: a) para cortar limpiamente en rebanadas delgadas (fetas, lonchas o tajadas); b) para resistir la rotura, desmenuzado, pegado o fractura en los bordes de corte (a ponerse en contacto con el equipo de embalaje), y c) de someterse a un alto nivel de flexión antes de romperse (Figura 2). Algunos quesos que muestran esta propiedad son el Doble crema, Quesillo, tipo Suizo, Gouda, Cheddar, Provolone, algunos quesos blancos, algunos PCP y ACP. Ramírez-Navas (2010d) y Olson *et al.* (2007) presentan metodologías para determinar la rebanabilidad.

**Rallabilidad delgada (Gratability).** Es la capacidad<sup>[18]</sup>: a) de fracturarse con facilidad en pequeñas partículas duras (Figura 3) y, b) de las partículas de resistir durante el rallado la fluidificación o la acumulación de partículas y exhibir libre flujo. Algunos quesos que muestran esta propiedad son: quesos duros quebradizos, por ejemplo, el queso Parmesano, tipo Romano.

**Untabilidad o extensibilidad (Spreadability).** Es la capacidad de propagarse fácilmente (Figura 4) cuando se someten a un esfuerzo cortante<sup>[18]</sup>. En productos como manteca, margarina, queso crema y salsa de tomate, la extensibilidad es la propiedad textural más importante. Se ha



Figura 3 - Queso Parmesano rallado (grated Parmesan cheese)

demonstrado que la extensibilidad subjetiva es inversamente proporcional a la cantidad de esfuerzo cortante en el cuchillo. Por lo tanto, el límite de elasticidad -definido como el esfuerzo de corte mínimo requerido para iniciar el flujo- se puede utilizar para caracterizar la extensibilidad. La tensión por sí sola es una medida suficiente de la extensibilidad, y se correlaciona mejor con la extensibilidad sensorial que la viscosidad aparente<sup>[3]</sup>. Algunos quesos que muestran esta propiedad son: Camembert maduro, Brie maduro, algunos quesos crema, queso fundido y algunos ACP. Es posible determinar la extensibilidad experimentalmente según el método señalado por Bredinger y Steffe, (2001).

**Migosidad o desmigajado (Crumbliness).** Es la capacidad de un queso para fracturarse con facilidad en pequeñas piezas de forma irregular cuando se frota<sup>[18]</sup>. Algunos quesos que muestran esta propiedad son: queso molido Nariñense, queso blanco, algunos quesos Campesino, Feta, Azul, Stilton, Cheshire.

**Propiedades funcionales del queso inducidas por el calentamiento**

Los quesos son utilizados extensamente en diversas preparaciones, por ejemplo en comidas horneadas, asadas en la parrilla, cocinadas en microondas y en frituras. Un aspecto clave del comportamiento del queso en estas preparaciones es su funcionalidad inducida por calor<sup>[51]</sup>. Las PF inducidas por el calor son determinantes esenciales de la calidad y aceptabilidad de los quesos de pasta hilada. Las más importantes incluyen<sup>[30, 18]</sup>:



Figura 4 - Queso untable



Figura 5 – Queso azul desmigajado

- Capacidad de fusión (Meltability) y flujo (Flowability)
- Capacidad de estiramiento (Stretchability) y elasticidad (Elasticity)
- Liberación de aceite (Limited oiling-off)
- Formación de ampollas (Blistering)
- Pardeamiento (Browning)

Un interesante ejemplo en el que se pueden evidenciar todas estas propiedades inducidas por el calor en el queso es la pizza (Figura 6). En ella, el queso al derretirse, fluye fácilmente para formar una capa fundida continua, con pérdida completa de su forma de ralladura. Adicionalmente, poseen capacidad de estiramiento, es moderadamente elástico, tiene consistencia masticable, muestra limitada formación de ampollas superficiales, y un color superficial dorado y brillante, pero no excesivo aceite libre en la superficie. Gunasekaran y Ak (2003) presentan dos capítulos en su libro Reología y Textura de Quesos sobre metodologías para determinar la capacidad de fusión (Meltability) y flujo (Flowability), y capacidad de estiramiento (Stretchability) y elasticidad (Elasticity).



Figura 6 – Queso mozzarella en pizza



Figura 7 – Queso Provolone fundido

### **Capacidad de fusión (Meltability) y flujo (Flowability).**

La capacidad que tiene un queso para fundir se conoce como capacidad de fusión<sup>[41]</sup>. El grado en que el queso fundido fluye y se extiende (Figura 7) sobre la superficie caliente se conoce como capacidad de flujo<sup>[18]</sup>. Las pruebas de capacidad de fusión y flujo convencionales se basan principalmente en el calentamiento controlado de probetas cilíndricas y la respectiva medición del flujo o los cambios de altura o diámetro de las muestras.

Los métodos más comúnmente reportados para la evaluación de capacidad de fusión y flujo son las pruebas que miden el aumento de diámetro o disminución de la altura de un cilindro de queso en la fusión en condiciones estándar, éstas son descritas por Kosikowski<sup>[31, 32]</sup>, y Arnott *et al.*<sup>[2]</sup>. Otro método empírico ampliamente utilizado para medir las propiedades de fusión y flujo es el método descrito por Olson y Price (1958), que mide la distancia de los flujos de queso fundido en un tubo de vidrio horizontal. El método propuesto por Kosikowski<sup>[31]</sup>, conocido como prueba de Schreiber, es el más ampliamente usado en la industria. Muthukumarappan *et al.* (1999a) propusieron varias modificaciones para mejorar la eficacia de la prueba de Schreiber. Más recientemente, Wang y Sun (2002a, 2002b) propusieron mediante técnicas de visión computarizada analizar imágenes para cuantificar el aumento de la superficie (flujo) de las muestras de queso durante la fusión como un índice de capacidad de fusión y flujo.

Otros métodos empíricos son el descrito por Metzger y Barbano (1999), que sirve para la medición de masticabilidad post-fusión (MPF). La MPF se determina mediante la mezcla de queso fundido, que se ha enfriado parcialmente, con agua en un triturador, pasando el contenido a través de una serie de tamices, disminuyendo el tamaño de malla, y determinando el porcentaje de sólidos de queso retenido en el tamiz de malla grande (4,75 mm). Los resultados de esta prueba empírica se correlacionan altamente con la clasificación sensorial de masticabilidad. Guinee *et al.* (1998) describieron una prueba empírica para definir el tiempo de fusión, que es el tiempo requerido para que un peso fijo de queso rallado se derrita y funda sobre un recipiente, al calentarlo a 280°C<sup>[30]</sup>.

Numerosos investigadores que han utilizado uno o más de estos métodos empíricos para estudiar el queso Mozzarella han informado, por lo general, que el tiempo de fusión, disminución de la viscosidad aparente y la capacidad de flujo aumentaron con la edad (maduración), el grado de proteólisis, el mayor contenido de grasa y humedad, el menor contenido en calcio, y con un pH más bajo. La reducción del contenido de calcio en la elaboración del queso tipo mozzarella bajo en grasa resultó en valores más bajos para el MPF<sup>[30]</sup>.

Algunos quesos que muestran esta propiedad son los PCPs, APCs, quesos crema y los quesos de pasta hilada, también la mayoría de los quesos después de un periodo de almacenamiento.

### **Capacidad de estiramiento (Stretchability) y elasticidad (Elasticity).**

La capacidad de estiramiento es la habilidad del queso fundido para formar fibras cohesivas, hilos o láminas cuando es extendido. La elasticidad es la capacidad de las fibras de queso de resistir la deformación durante la extensión (Figura 8), y se relaciona con masticabilidad. Tradicionalmente, la filancia de los quesos de pasta hilada se mide utilizando pruebas subjetivas descriptivas, sin embargo, la técnica objetiva más popular es de viscometría helicoidal<sup>[27]</sup>.

Las pruebas empíricas han sido propuestas para evaluar la capacidad de estiramiento o elongación del queso de pasta hilada. Apostolopoulos y Marshall, (1994) y Guinee y O'Callaghan (1997) desarrollaron pruebas empíricas para medir la distancia a la que el queso fundido puede ser estirado verticalmente u horizontalmente, respectivamente, antes de la rotura completa de las fibras. Los autores que utilizan el método de Guinee y O'Callaghan (1997), por lo general, han encontrado que la capacidad de estiramiento de los quesos de pasta hilada fundidos aumenta con el tiempo de almacenamiento (4°C) hasta 15 a 20 días y, posteriormente, se mantiene relativamente constante hasta los 50 a 75 días<sup>[14, 15, 16, 17, 57]</sup>. Fife *et al.*, (2002) señalan un interesante método para evaluar la capacidad de estiramiento y la elasticidad de queso, en el que se emplea un probador de resistencia a la tracción modificado.



Figura 8 – Queso de pasta hilada

Los quesos que muestran esta propiedad son los de pasta hilada, tales como: Halloumi, Provolone, Kashkaval, Mozzarella, doble crema, Quesillo, Pera, de hoja, etc.

**Liberación de aceite (Limited oiling-off).** Liberación de aceite es la capacidad del queso para liberar una pequeña cantidad de grasa libre cuando es calentado<sup>[11]</sup>. La excesiva liberación de aceite resulta en la formación de pequeños conjuntos de gotas de grasa sobre la superficie y por todas partes del queso fundido, dando al queso un aspecto grasoso y una sensación en la boca que generalmente son considerados como indeseables. Sin embargo, una moderada liberación de aceite contribuye a las características deseables de fusión, mediante la creación de una película hidrofóbica en la superficie del queso durante el horneado, dando a la superficie un brillo atractivo y, más importante, frenando la pérdida de humedad por evaporación. La excesiva deshidratación durante el fundido, como ocurre cuando existe una insuficiente liberación de aceite, resulta en la formación de una piel resistente en la superficie del queso que inhibe el flujo y provoca que el producto se queme fácilmente<sup>[30]</sup>.

La liberación de aceite puede ser medida empíricamente por dos diferentes métodos: fundir discos de queso sobre un papel filtro y medir el área del anillo de aceite que se difunde en el papel filtro; o fundir y centrifugar el queso para recuperar el aceite libre<sup>[25, 26]</sup>. La liberación de aceite puede medirse usando una versión modificada del test de Babcock<sup>[25]</sup>. Se cree que estos métodos no extraen la grasa almacenada en forma emulsionada por la caseína en el queso<sup>[36]</sup>, aunque no está aún establecido si las formas grasas emulsionadas forman parte del aceite liberado. En general, la liberación de aceite de los quesos de pasta hilada muestra un incremento con el aumento del contenido de grasa, disminución del contenido de sal, aumento del tiempo de almacenamiento y niveles de proteólisis, y una reducción substancial cuando la

leche o la fracción de crema de la leche ha sido homogenizada antes de la elaboración del queso<sup>[30]</sup>.

**Pardeamiento (Browning).** Los quesos de pasta hilada contienen azúcares reductores (lactosa y galactosa) que contienen grupos aldehído, grupos amino libres (es decir,  $\alpha$ - o  $\epsilon$ - grupos amino de amino ácidos, péptidos o proteínas) y otros grupos nitrogenados reactivos que son susceptibles a reacciones de pardeamiento de Maillard. Éstas pueden ocurrir durante el tiempo de almacenamiento de quesos no calentados (Parmesano, Romano) o queso procesado, pero más frecuentemente ocurren en quesos que se calientan, por ejemplo Mozzarella y otros quesos elaborados con cultivos termofílicos, y PCPs o ACPs (Figura 10). Estas reacciones son deseables en ciertas preparaciones alimenticias como lasaña, pizza, crustinis, entre otras. Pero un intenso pardeamiento es inaceptable desde el punto de vista estético y nutricional. El pardeamiento rara vez ocurre en quesos elaborados con cultivos mesofílicos (Cheddar) siempre y cuando tenga pequeñas o ninguna cantidad de azúcares residuales, y breves tiempos de maduración (14 días)<sup>[18]</sup>.

El potencial de pardeamiento de queso mozzarella ha sido evaluado objetivamente por espectrocolorimetría después de calentar o refrigerar el queso en diversas condiciones<sup>[30]</sup>. El pardeamiento de los quesos de pasta hilada se prueba por cocción del queso seguida de la determinación del color<sup>[39, 35]</sup>. Ramírez-Navas (2010c), indica dos ecuaciones para realizar los cálculos del índice de pardeamiento (IP) y el factor de pardeamiento (FP) a partir de valores triestímulo XYZ y  $L^*$  (luminosidad).

$$IP=100 - \frac{X - 0.31 (X + Y + Z)}{0.172 (X + Y + Z)}$$

Donde X, Y y Z son los valores triestímulo correspondientes.

$$FP=100 - \frac{L_t}{L_0}$$

Donde  $L^*_0$  y  $L^*_t$  son los valores de luminosidad correspondientes a la muestra inicial y en un tiempo t.

También pueden ser empleados para analizar el pardeamiento la diferencia de color,  $\Delta E$ , y el índice de amarillez, IA<sup>[48]</sup>.

### Factores que afectan la funcionalidad de la mozzarella

La funcionalidad de los quesos de pasta hilada parece implicar dos fases distintas pero interrelacionadas. La primera ocurre durante la elaboración, cuando se establece la estructura básica de la cuajada. Una segunda fase se da



Figura 9 – Liberación de aceite en queso Provolone



Figura 10 – Pardeamiento en queso Mozzarella

durante el almacenamiento, cuando la funcionalidad y la estructura de la cuajada sufren alteraciones. Ambas fases son afectadas de distintas formas por los pasos del proceso de elaboración. Entonces, las PF son afectadas por distintos factores y sus interrelaciones, tales como: la leche (composición, tratamiento térmico, actividad enzimática y bacteriana); la composición química del queso (sólidos totales, pH, contenidos de proteína y grasa, niveles de lactosa residual y ácido láctico); las condiciones de elaboración (velocidad de acidificación, valor de pH final, temperatura de cocción, condiciones de amasado y contenido de sal); el contenido mineral del queso (calcio y fosfato total, contenido de calcio insoluble asociado con la caseína); y la maduración (tiempo y temperatura, actividades del coagulante residual, de la plasmina y microbiológica, solubilización del fosfato de calcio coloidal, equilibrio de la sal y la humedad, cambios de pH)<sup>[34, 51]</sup>.

Las modificaciones de las propiedades funcionales en cada una de las etapas de elaboración del queso han sido ampliamente estudiadas: homogenización<sup>[33, 53]</sup>, estandarización<sup>[36, 54, 25]</sup>, selección de cultivos<sup>[54]</sup>, hilado<sup>[1, 50]</sup> y salado<sup>[28, 4]</sup>.

Durante el almacenamiento, también ocurren cambios en la funcionalidad de los quesos. Estudios recientes de las propiedades microbiológicas, proteolíticas y físico-químicas de diversos quesos de pasta hilada elaborados en forma tradicional han provisto un gran entendimiento de los cambios que ocurren durante la maduración. Muchos autores han teorizado que los mayores cambios funcionales que tienen lugar en la maduración son debidos principalmente a la modificación de la matriz de caseína por la proteólisis <sup>[8, 60, 21, 22, 55, 56, 43, 14; 29, 52, 19]</sup>.

Un ejemplo de los cambios de las propiedades funcionales durante la maduración se puede evidenciar al emplear estos quesos en la elaboración de pizzas. Así, el queso Mozzarella fresco es firme, tiene poca capacidad de fusión (meltability) y limitada capacidad de estiramiento (stretchability), por lo que no es adecuado para ser utilizada en pizzas. A medida que el queso madura durante un período de una a tres semanas, la

textura gradualmente se ablanda y el queso mejora en capacidad de fusión y flujo, y capacidad de estiramiento y elasticidad. Esta maduración continúa hasta que el queso se vuelve demasiado blando al derretirse. En esta etapa el queso es nuevamente inadecuado para ser empleado en pizzas<sup>[23]</sup>.

### Conclusión

Las propiedades funcionales permiten evaluar de alguna manera las expectativas y preferencias de los consumidores. En los últimos años han surgido nuevas metodologías para cuantificar subjetiva u objetivamente las PF. También la cuantificación de la funcionalidad de los quesos sirve como herramienta para su caracterización. La selección de las PF a ser analizadas depende del uso que se le dará al queso como ingrediente en la elaboración de alimentos.

### Referencias bibliográficas

- (1) Apostolopoulos, C. y Marshall, R.J. 1994. A quantitative method for the determination of shreddability of cheese. *J. Food Quality* 17:115-128
- (2) Arnott, D.R.; Morris, H.A. y Combos, C.A. 1957. Effect of certain chemical factors on the melting quality of process cheese. *J. Dairy Sci.*, 40:957-959.
- (3) Breidinger, S.L. y Steffe, J.F. 2001. Texture Map of Cream Cheese. *J. Food Sci.*, 66(3):453-456
- (4) Cervantes, M.A.; Lund, D.B. y Olson, N.F. 1983. Effects of salt concentration and freezing on Mozzarella cheese texture. *J. Dairy Sci.*, 66(2):204-213
- (5) Childs, J.L.; Daubert, C.R.; Stefanski, L. y Foegeding, E.A. 2007. Factors regulating cheese shreddability. *J. Dairy Sci.*, 90:2163-2174
- (6) Dave, R.I.; McMahon, D.J.; Oberg, C.J. y Broadbent J.R. 2003a. Influence of coagulant level on proteolysis and functionality of Mozzarella cheese made using direct acidification. *J. Dairy Sci.*, 86(1): 114-126.
- (7) Dave, R.I.; Sharma, P.; y McMahon, D.J. 2003b. Melt and rheological properties of Mozzarella cheese as affected by starter culture and coagulating enzymes. *Lait* 83: 61-77.
- (8) Farkye, N.Y.; Kiely, L.J.; Allshouse, R.D. y Kindstedt, P.S. 1991. Proteolysis in Mozzarella cheese during refrigerated storage. *J. Dairy Sci.*, 74:1433-1438
- (9) Fife, R.L.; McMahon, D.J. y Oberg, C.J. 2002. Test for measuring the stretchability of melted cheese. *J. Dairy Sci.*, 85:3539-3545
- (10) Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. and McSweeney, P.L.H. 2000. Cheese as a food ingredient. En, *Fundamentals of Cheese Science*, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg. pp. 452-483.

- (11) Guinee, T.P. 2002a. Cheese as a food ingredient. En: Roginski H, Fuquay JW, Fox PF. Encyclopedia of dairy sciences. Londres: Academic Press. p418-455.
- (12) Guinee, T.P. 2002b. The functionality of cheese as an ingredient: a review. *Aust. J. Dairy Technol.* 57:79-91.
- (13) Guinee, T.P. y O'Callaghan, D.J. 1997. The use of a simple empirical method for objective quantification of the stretchability of cheese cooked on pizza pies. *J. Food Eng.* 31:147-161
- (14) Guinee, T.P.; Mulholland, E.O.; Mullins, C.; Corcoran, M.O.; Connelly, J.F.; Beresford, T.; Mehra, R.; O'Brien, B.J.; Murphy, J.J.; Stakelum, G. y Harrington, D. 1998. Effect of altering the daily herbage allowance to cows in mid lactation on the composition, ripening and functionality of low-moisture, part-skim Mozzarella cheese. *J. Dairy Res.* 65:23-30.
- (15) Guinee, T.P.; Harrington, D.; Corcoran, M.; Mulholland, E.O. y Mullins, C. 2000. The compositional and functional properties of commercial Mozzarella, Cheddar and analogue pizza cheeses. *Int. J. Dairy Technol.* 53:51-56.
- (16) Guinee, T.P.; Feeney, E.P. y Fox, P.F. 2001. Effect of ripening temperature on low moisture Mozzarella cheese. 2. Texture and functionality. *Lait* 81:475-485."
- (17) Guinee, T.P.; Feeney, E.P.; Auty, M.A.E. y Fox, P.F. 2002. Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 85:1655-1669.
- (18) Guinee, T.P. y Kilcawley, K.N. 2004. Cheese as an ingredient. En *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol.2, 3rd edn., ed. P.L.H. McSweeney. Elsevier Science - Academic Press, London. Pp, 395-428
- (19) Gunasekaran S., y Ak M.M. 2003. Cheese rheology and texture. Florida: CRC Press LCC.
- (20) Joshi, N.S.; Muthukumarappan, K. y Dave, R.I. 2003. Understanding the role of calcium in functionality of part skim Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 86(6):1918-1926.
- (21) Kiely, L.K.; Kindstedt, P.S.; Hendricks, G.M.; Levis, J.E.; Yun, J.J. y Barbano, D.M. 1992. Effect of draw pH on the development of curd structure during the manufacture of Mozzarella cheese. *Food Struct.* 11:217-224.
- (22) Kiely, L.J.; Kindstedt, P.S.; Hendricks, G.M.; Levis, J.E.; Yun, J.J. y Barbano, D.M. 1993. Age related changes in the microstructure of Mozzarella cheese. *Food Struct.*, 12:13-20.
- (23) Kindstedt, P.S. 1991. Functional properties of Mozzarella cheese on pizza: a review. *Cult. Dairy Prod. J.* 26(3):27-31.
- (24) Kindstedt, P.S. 1995. Factors affecting the functional characteristics of unmelted and melted Mozzarella cheese. En, *Chemistry of Structure-Function Relationships*. In Cheese, Malin, E.L. and Tunick, M.H., eds, Plenum Press, New York. pp. 27-41.
- (25) Kindstedt, P.S. y Rippe, J.K. 1990. Rapid quantitative test for free oil (oiling off) in melted Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 73:867-873.
- (26) Kindstedt, P.S. y Fox, P.F. 1991. Modified Gerber test for free oil in Mozzarella cheese. *J. Food Sci.*, 56:1115-1116
- (27) Kindstedt, P.S. y Kiely, L.J. 1992. Revised protocol for the analysis of Mozzarella cheese melting properties by helical viscometry. *J. Dairy Sci.* 75:676-682
- (28) Kindstedt, P.S.; Kiely, L.J. y Gilmore, J.A. 1992. Variation in composition and functional properties within brinesalted Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 75:2913-2921.
- (29) Kindstedt, P.S. y Guo, M.R. 1998. A physico-chemical approach to the structure and function of Mozzarella cheese. *Aust. J. Dairy Technol.* 53:70-73.
- (30) Kindstedt, P.S.; Caric, M. y Milanovic, L. 2004. Pasta-filata Cheese. En *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol.2, 3rd edn., ed. P.L.H. McSweeney. Elsevier Science - Academic Press, London. Pp. 251-277
- (31) Kosikowski, F.V. 1977. Cheese and fermented milk foods. F.V. Kosikowski Et Assoc., Brooktondale, NY
- (32) Kosikowski, F.V. y Mistry, V.V. 1997. Analysis. En, *Cheese and Fermented Milk Foods*. 2. Procedures and Analysis, 3rd edn, Kosikowski, F.V., Westport, LLC., CT. pp. 208-264
- (33) Lelievre, J.; Shaker, R.R. y Taylor, M.W. 1990. The role of homogenization in the manufacture of halloumi and Mozzarella cheese from recombined milk. *Journal of the Society of Dairy Technol.*, 43(1):21-24.
- (34) Lucey, J.A.; Johnson, M.E. y Horne, D.S. 2003. Perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *J. Dairy Sci.*, 86(9):2725-2743.
- (35) Matzdorf, B.; Cuppett, S.L.; Keeler, L.J. y Hutkins, R.W. 1994. Browning of mozzarella cheese during high temperature pizza baking. *J. Dairy Sci.* 77:2850-2853
- (36) McMahon, D.J.; Oberg, C.J. y McManus, W. 1993. Functionality of Mozzarella cheese. *Aust. J. Dairy Technol.* 48:99-104.
- (37) McMahon, D.J.; Fife, R.L. y Oberg, C. 1999. Water partitioning in Mozzarella cheese and its relationship to cheese meltability. *J. Dairy Sci.*, 82, 1361-1369
- (38) Metzger, L.E. y Barbano, D.M. 1999. Measurement of postmelt chewiness of Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.* 82, 2274-2279.
- (39) Mukherjee, K.K. y Hutkins, R.W. 1994. Isolation of galactose-fermenting thermophilic cultures and their use in the manufacture of low browning Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 77:2839-2849
- (40) Muthukumarappan, K.; Wang, Y.C. y Gunasekaran, S. 1999a. Modified Schreiber test for evaluation of Mozzarella cheese meltability. *J. Dairy Sci.* 82:1068-1071
- (41) Muthukumarappan, K.; Wang Y.C. y Gunasekaran S. 1999b. Estimating softening point of cheeses. *Journal of Dairy Science* 82:2280-2286.
- (42) Ni, H. y Gunasekaran, S. 2004. Image processing algorithm for cheese shred evaluation. *J. Food Eng.* 61:37-45
- (43) Oberg, C.J.; McManus, R. y McMahon, D.J. 1993. Microstructure of Mozzarella cheese during manufacture. *Food Struct.*, 12:251-258.
- (44) Olson, D.W.; Van Hekken, D.L.; Tunick, M.H. Soryal, K.A. y Zeng, S.S. 2007. Effects of aging on functional properties of caprine milk made into Cheddar- and Colby-like cheeses. *Small Ruminant Research* 70:218-227
- (45) Olson, N.F. y Price, W.V. 1958. A melting test for pasteurized process cheese spreads. *J. Dairy Sci.* 41:999-1000
- (46) Ramírez-Navas, J.S. 2010a. Queso Molido Nariñense. *Revista Tecnología Láctea Latinoamericana*, 59:56-59
- (47) Ramírez-Navas, J.S. 2010b. El Quesillo: un queso colombiano de pasta hilada. *Revista Tecnología Láctea Latinoamericana*, 60:63-67
- (48) Ramírez-Navas, J.S. 2010c. Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Revista Tecnología Láctea Latinoamericana*, 61:52-58.
- (49) Ramírez-Navas, J.S. 2010d. Propiedades funcionales de los quesos: Énfasis en quesos de pasta hilada. *Revista RECITEIA*. 10(2):70-97
- (50) Renda, A.; Barbano, D.M.; Yun, J.J.; Kindstedt, P.S. y Mulvaney, S.J. 1997. Influence of screw speeds of the mixer at low temperature on characteristics of Mozzarella cheese. *J. Dairy Sci.*, 80:1901-1907
- (51) Rivero, G. 2008. Congelación de quesos por inmersión en soluciones acuosas concentradas. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina
- (52) Rowney, M.; Roupas, P.; Hickey, M.W. y Everett, D.W. 1999. Factors affecting the functionality of Mozzarella cheese. *Aust. J. Dairy Technol.*, 54:94-102.
- (53) Tunick, M.H. 1994. Effects of Homogenization and Proteolysis on Free Oil in Mozzarella Cheese. *J. Dairy Sci.*, 77(9):2487-2493
- (54) Tunick, M.H.; Mackey, K.L.; Smith, P.W. y Holsinger, V.H. 1991. Effects of composition and storage on the texture of Mozzarella cheese. *Neth. Milk Dairy J.* 45:117-125
- (55) Tunick, M.H.; Mackey, K.L.; Shieh, J.J.; Smith, P.W.; Cooke, P. y Malin, E.L. 1993. Rheology and microstructure of low-fat Mozzarella cheese. *Int. Dairy Journal* 3:649-662
- (56) Tunick, M.H.; Cooke, P.H.; Malin, E.L.; Smith, P.W. y Holsinger, V.H. 1997. Reorganization of casein submicelles in Mozzarella cheese during storage. *Int. Dairy J.*, 7:149-155
- (57) Walsh, C.D.; Guinee, T.P.; Harrington, D.; Mehra, R.; Murphy, J. y Fitzgerald, R.J. 1998. Cheesemaking, compositional and functional characteristics of low-moisture part-skim Mozzarella cheese from bovine milks containing -casein AA, AB or BB genetic variants. *J. Dairy Res.* 65:307-315.
- (58) Wang, H.H. y Sun, D.W. 2002a. Melting characteristics of cheese: analysis of effects of cheese dimensions using computer vision techniques. *J. Food Eng.*, 52:279-284.
- (59) Wang, H.H. y Sun, D.W. 2002b. Melting characteristics of cheese: analysis of effect of cooking conditions using computer vision technology. *J. Food Eng.*, 51:305-310.
- (1) Yun, J.J., Barbano, D.M. y Kindstedt, P.S. 1993. Mozzarella cheese: impact of milling pH on chemical composition and proteolysis. *J. Dairy Sci.*, 76:3629-3638.