

1. El yogur

No existen registros históricos confiables disponibles sobre el origen del yogur (Shah, 2003; Hussain *et al.*, 2009), pero se cree que la fermentación fue la primera técnica empleada por los humanos para preservar alimentos (Shah, 2003). Los primeros registros ubican el origen del yogur en el Cercano Oriente, en zonas de Bulgaria habitadas por los tracios, y en Turquía. Diversas referencias históricas y literarias sobre el yogur consideran que su origen remite a la costumbre de los pastores de llevar la leche, durante sus largas jornadas de trabajo, en odres hechos con piel de animales; dentro de ellos, por la acción de ciertos fermentos y del calor, la leche sufría transformaciones que la convertían naturalmente en yogur.

Fueron los turcos los primeros en producir yogur, y gracias a ellos fue difundido, tanto en el Oriente como en el Occidente. El término *yogur* se deriva de la palabra turca «Jugurt» (Shah, 2003; Hussain *et al.*, 2009). A comienzos del siglo xx, el científico ruso premio Nobel, Elie Metchnikoff, realizó estudios sobre esta bebida y sus efectos en la salud, que le permitieron establecer una relación directa entre salud, longevidad y la ingestión de bacterias presentes en alimentos fermentados como el yogur; esta observación proporcionó un importante impulso a la elaboración y consumo de yogur y de otros productos lácteos fermentados (Shah, 2003). El Dr. Stamen Grigoroff, búlgaro, presentó en 1903 ante el Instituto Luis Pasteur sus investigaciones sobre la composición y beneficios de este tipo de alimentos, que confirmaban las conclusiones de Metchnikoff y las enriquecían con nuevos aportes que estimularon la fabricación y consumo de estos productos.

El yogur es una leche fermentada de alto consumo en todo el mundo, y uno de los más populares y distribuidos productos lácteos (Hussain *et al.*, 2009; Fadela *et al.*, 2009; Saint-Eve *et al.*, 2008; Sodini *et al.*, 2005). El *Codex Alimentarius* lo define como leche coagulada que resulta de la fermentación ácido láctica de leche entera o descremada (Blanco *et al.*, 2006; Adolfsson *et al.*, 2004); además de ser un producto fermentado semisólido (Hussain *et al.*, 2009; Hui, 1993; Elli *et al.*, 2006; Noni *et al.*, 2004; Mahmood *et al.*, 2008) de apariencia viscosa, textura suave y un sabor placentero suavemente ácido (Hussain *et al.*, 2009; Kumar y Mishra, 2004; Ruiz y Ramírez, 2009; Salvatierra *et al.*, 2004) viene mezclado con una combinación simbiótica de *Streptococcus thermophilus* (ST) y *Lactobacillus delbruekii* sub. *bulgaricus* (LB) (Hussain *et al.*, 2009; Hui, 1993; Elli *et al.*, 2006; Noni *et al.*, 2004; Mahmood *et al.*, 2008; Campo *et al.*, 2005) o suplementado con bacterias opcionales no patógenas (Hui, 1993).

1.1 Clasificación

Los yogures pueden variar de acuerdo con su composición química, el método de producción, el sabor utilizado y la naturaleza del proceso de posincubación (Shah, 2003; Ramasubramanian *et al.*, 2008). Existen diferentes clasificaciones del yogur; por ejemplo, Shah (2003) menciona una basada en el contenido de grasa, que lo clasifica en yogur entero, yogur con reducción de grasa y yogur bajo en grasa. Comercialmente los yogures son clasificados bajo la denominación de firme o batido, de acuerdo con el método de producción utilizado y la estructura física del coágulo; el yogur batido es elaborado mediante la fermentación de la leche y la agitación; en el yogur firme no se rompe la estructura rígida del gel (Ramasubramanian *et al.*, 2008).

Se encuentra otra clasificación, que parte del sabor y del olor del producto; así, se llama yogur natural el producto tradicional, que tiene una acidez típica, al que no le han sido adicionados otros componentes; en cambio, el yogur de frutas es elaborado con la adición de estas, usualmente bajo la forma de frutas conservadas en puré o mermelada; los yogures saborizados son preparados a partir de yogur natural, al cual se le agregan azúcar y otros agentes endulzantes, saborizantes y colorantes (Shah, 2003).

1.2 Valor nutritivo

El yogur contiene mayor biodisponibilidad de nutrientes que la leche (Hui, 1993); es importante destacar el incremento de la digestibilidad de la proteína y de la grasa, debido a ciertas reacciones de predigestión durante la fermentación (Kumar y Mishra, 2004). Comparado con la leche, es más nutritivo en términos de contenido de vitaminas, digestibilidad y como fuente de calcio y fósforo (Zahoor *et al.*, 2003); su composición depende del tipo de leche de la cual proviene y de una gama de factores estacionales, como: leche entera o leche descremada, estación del año, periodo de lactación y modo de alimentación del bovino (Hussain *et al.*, 2009; Adolfsson *et al.*, 2004).

La composición nutricional de la leche se ve afectada por varios factores genéticos, como diferencias individuales de los mamíferos, alimentación, estado de lactación, edad (Adolfsson *et al.*, 2004), presencia de otros ingredientes como leche en polvo o leche condensada (Hussain *et al.*, 2009); también inciden en la composición nutricional las características del procesamiento de la leche y los elementos usados para realizarlo, algunos de los cuales influyen en la temperatura, duración de exposición térmica, exposición a la luz y condiciones de almacenamiento. Además, los cambios en los constituyentes de la leche que ocurren durante la fermentación ácido-láctica influyen en el valor físico y nutricional del yogur. La composición del yogur también se ve afectada por las especies de bacterias utilizadas en la fermentación, la fuente y tipo de sólidos lácteos que pueden ser añadidos antes de la fermentación y la temperatura y duración de los procesos fermentativos (Adolfsson *et al.*, 2004).

Vitaminas

Las bacterias ácido-lácticas afectan, durante y después de la fermentación, un grupo de vitaminas del yogur. Los parámetros de procesamiento y subsecuentes condiciones de almacenamiento inciden en el contenido de vitamina y en el tiempo recomendado para el consumo de los productos. Temperatura y tiempo de incubación ejercen un significativo balance entre síntesis de vitaminas y utilización por el cultivo. En general, existe un descenso de vitamina B-12, biotina, ácido pantoténico y un incremento de ácido fólico durante la producción de yogur; aun así, el yogur es una excelente fuente de vitaminas inherentes a la leche (Hui, 1993).

Vitamina B. Generalmente, los derivados lácteos han sido considerados excelentes fuentes de alta calidad proteica, calcio, potasio, fósforo, magnesio, zinc y vitaminas B-2 o riboflavina, B-3 o niacina, vitamina B-6 o piridoxina y vitamina B-12 o cianocobalamina. Una gran pérdida de vitaminas, más que de minerales, puede ocurrir durante el procesamiento de yogur, debido a que las vitaminas son más sensibles a cambios en presencia de ciertos factores ambientales. Algunos de los factores que son importantes durante el procesamiento de leche y que han tenido efectos adversos sobre el contenido de vitamina de productos lácteos, son: el tratamiento térmico, ultrafiltración, agitación, condiciones oxidativas y bacterias utilizadas en los procesos fermentativos (Hui, 1993).

Algunas especies de bacterias ácido-lácticas (BAL) requieren vitaminas del grupo B para su crecimiento, pero varios cultivos son capaces de sintetizarlas. El folato es el mejor ejemplo de vitamina B que algunas especies de BAL sintetizan; según las cepas bacterianas utilizadas, el contenido de folato en el yogur puede variar ampliamente entre 4 y 19 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. En recientes estudios, aislados bacterianos de varias especies utilizadas para la producción de leches fermentadas y de yogur fueron examinados por su habilidad para sintetizar o utilizar folato (Adolfsson *et al.*, 2004).

En muchos países las leches y fórmulas infantiles son fortificadas con vitamina D, y de este modo sirven como buenas fuentes dietarias, y además desempeñan el principal papel regulador en la absorción de calcio; sin embargo, otros productos lácteos como el yogur no vienen fortificados con vitamina D (Hui, 1993).

Minerales

El yogur es una fuente excelente de minerales en la dieta; aporta calcio, fósforo, magnesio y zinc para la nutrición humana; sin embargo, algunas investigaciones han mostrado que la biodisponibilidad de minerales a partir del yogur es esencialmente igual a la que aporta la leche (Hui, 1993).

Debido al bajo pH de las leches fermentadas, algunos minerales son más solubles que en la leche normal, y por ello muchas veces se asume que los minerales se absorben mejor; no obstante, la absorción de algunos elementos, especialmente del

magnesio y del zinc, está favorecida por la presencia de lactosa, y como el contenido de lactosa disminuye durante la fermentación, la absorción neta a partir de la leche acidificada es menor; estos efectos se han comprobado en ensayos realizados con animales alimentados con yogur (Walstra *et al.*, 2001). El pH ácido del yogur ioniza calcio y facilita así la respuesta intestinal de este mineral; por esto también puede reducir el efecto inhibitor de ácido fólico dietario sobre la biodisponibilidad del calcio.

1.3 Procesamiento y elaboración de yogur

La tecnología de la elaboración de yogur es estándar e incluye las siguientes etapas de procesamiento: estandarización del contenido graso y fortificación del nivel de sólidos no grasos, homogeneización seguido por tratamiento térmico, enfriamiento parcial, inoculación de la leche por un cultivo iniciador termofílico, enfriado y, finalmente, almacenamiento a 5°C (Mahmood *et al.*, 2008; Olson y Aryana, 2008).

Es importante fortificar la leche, utilizando, por ejemplo, materiales como leche en polvo, caseinatos y concentrados de lactosuero, entre otros (Soukoulis *et al.*, 2007); estos últimos pueden mejorar alternativas costo-efectivo de la leche en polvo, y además de ofrecer propiedades funcionales diferentes a las proteínas de la leche en polvo, se pueden obtener por ultrafiltración del lactosuero al enriquecer la fracción proteica por eliminación de lactosa, minerales y otros componentes de peso molecular bajo (Sodini *et al.*, 2005). Otra manera para fortificar la leche puede ser a través de ósmosis inversa y ultrafiltración, que producen un contenido más alto de sólidos, además de mejorar la viscosidad del producto. Con esta técnica de ultrafiltración la leche contendrá un 18 o 20% de sólidos totales, logrando un yogur de buena calidad (Shah, 2003).

Una vez la leche fortificada es homogeneizada y calentada, se enfría hasta temperatura de fermentación (42°C); posteriormente se incuba con cultivos iniciadores, a pH deseado (4,5), y luego se enfría a 4°C , para detener la fermentación. En el caso de yogur batido, la leche inoculada es vertida dentro de un tanque donde ocurre la fermentación, previamente establecida la opción de que el gel del yogur se pueda romper. Después de la fermentación se rompe el gel; así el yogur es bombeado a través de una fina malla, enfriado y finalmente empacado en envases (Sodini *et al.*, 2005).

La sacarosa puede ser añadida en forma de polvo, granulada, cristalina o líquida. Actualmente, la sacarosa, en una proporción de un 6 o 7% (Hui, 1993), es el principal endulzante utilizado en la producción de yogur; no obstante, el nivel de sacarosa en la mezcla de yogur parece afectar la producción de ácido láctico y el sabor del yogur, por su influencia en el cultivo de este. Una disminución en las características de producción de componentes de sabor (acetaldehído) ha sido reportada en presencia de concentraciones de 8% o 10%, siendo esta última la más utilizada. De acuerdo con varias investigaciones, una mezcla con un 4% o más de sacarosa podría reducir la producción de ácido láctico y disminuir el conteo de células de especies microbianas, cuando se incorporan en la mezcla previa a la fermentación (Shah, 2003).

Homogeneización

Es un proceso industrial utilizado en la estabilización de la fase lipídica contra la separación por gravedad; al respecto, la gravedad específica de la grasa láctea es 0,9 g/ml, mientras que la de la leche descremada es 1,036 g/ml; por lo anterior, la grasa, por ser más ligera, tiende a separarse del suero de la leche descremada si se deja reposar (Shah, 2003). Esta fase lipídica está formada por una membrana del glóbulo graso que lo protege de la lipasa; sin embargo, durante la homogeneización esta membrana es destruida, y el glóbulo graso es vulnerable al ataque por la lipasa, que está naturalmente presente en la leche; por lo anterior, la leche es pasteurizada para inactivar la lipasa antes de la homogeneización (Shah, 2003). La homogeneización reduce el promedio de diámetro de los glóbulos grasos a 1 o 2 μm , teniendo en cuenta que el rango del promedio normal en la leche va de 1 a 15 μm ; como resultado, el glóbulo graso no forma crema durante la incubación de yogur (Shah, 2003; Hui, 1993).

Tratamiento térmico

El tratamiento térmico de la leche es considerado un factor crítico para la formación de textura y la aceleración de agregación de la proteína (Laurent y Boulenguer, 2003); tiene varios objetivos: destruir bacterias patogénicas; inactivar las enzimas que pueden estar presentes en la leche, como la lipasa; destruir la mayoría de las bacterias productoras de esporas, y desnaturalizar proteínas de lactosuero β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina (Hui, 1993; Tamine, 2003). Las relaciones tiempo-temperatura que son utilizadas para lograr este objetivo son dependientes del nivel de acidez, del método de calentamiento, del embalaje y de las condiciones de almacenamiento. La aplicación de un tiempo-temperatura de 80 a 85° C por 30 minutos o de 90 a 95° C por 5 minutos es considerada adecuada para la producción de yogur de alta calidad; sin embargo, si se incrementa la intensidad del tratamiento térmico se induce una desnaturalización excesiva de proteínas del lactosuero (Soukoulis *et al.*, 2007).

El tratamiento térmico desnaturaliza más del 90% de la β -lactoglobulina, comparada con 60% de la α -lactoalbúmina. Un complejo es formado entre κ -caseína y β -lactoglobulina desnaturalizada, el cual incrementa las propiedades hidrofílicas de la caseína y reduce la tendencia del gel a la sinéresis, facilitando la formación de un coágulo estable y suave cuando el pH disminuye durante la fermentación a 4,6 (Shah, 2003). Otro efecto del calor está relacionado con la hidratación de la proteína, que es máxima cuando la leche es calentada a 85° C, pero disminuye cuando la temperatura es incrementada arriba de 85° C. Un alto tratamiento térmico disminuye las propiedades hidrofílicas del complejo β -lactoglobulina- κ -caseína; como resultado, la sinéresis ocurre y la estructura del gel yogur se convierte en débil y frágil (Shah, 2003).

El calentamiento posfermentación del yogur causa la separación de la fase acuosa de las partículas de caseína suspendidas; esto se debe, principalmente, al fenómeno de agregación/deshidratación de las caseínas causadas al calentar cerca del punto isoelectrónico (pH 4,6). Ciertamente, los hidrocoloides (por ejemplo, pectinas, alginato,

o carbometilcelulosa) son cargados negativamente, y cuando se añaden al yogur, antes de la etapa del tratamiento térmico, interactúan con las cargas positivas de la caseína por debajo de este punto isoeléctrico, y se evita la separación de las dos fases en el producto (Tamime, 2003).

Inoculación e incubación

Después del tratamiento térmico, la mezcla es enfriada a 45 °C e inoculada con un cultivo iniciador a un nivel que varía desde 0,5 a 5%; sin embargo, la máxima cantidad recomendada es 5%. El nivel óptimo de inoculación con cultivo iniciador es de 2% y 1% de *Lactobacillus delbrueckii* y *Streptococcus thermophilus*, respectivamente; una vez añadido el cultivo, estas células son distribuidas en la mezcla inoculada al agitarse por 10-15 minutos después de la adición del cultivo iniciador. Luego, se procede a la dispersión de la mezcla dentro de los contenedores y se incuba a 42 °C durante cerca de 4 horas, hasta que el pH disminuya a 4,5 (Shah, 2003); debido a lo anterior la leche coagula, y un gel firme se forma en 3,5-4 horas, y disminuye a 4,4-4,5 horas.

La determinación del tiempo de incubación es un parámetro técnico esencial en la producción industrial de yogur. Debido a la complejidad de los procesos de fermentación y al gran número de factores involucrados en la coagulación de yogur, la predicción del paso de incubación es difícil, al igual que la adopción de una práctica común para controlar esto empíricamente. Además, la definición del tiempo óptimo de incubación es importante no solamente para reducir los costos de elaboración, sino también para evitar el deterioro de las características de calidad del producto final. La temperatura de incubación de 42° C es óptima para el crecimiento de BAL en términos generales; para ST la temperatura ideal es de 37 °C, y para LB es de 45 °C. La temperatura de incubación por encima de 42 °C promueve el crecimiento de *lactobacillus*, mientras que una temperatura de incubación menor de 42 °C favorecería el crecimiento de *Streptococcus thermophilus* (Shah, 2003).

Una desviación en cualquiera de las dos direcciones provocaría disturbios en la proporción de *Lactobacillus* a *Streptococcus*, por eso la proporción de *Lactobacillus* y *Streptococcus* en yogur natural para el sabor óptimo podría ser 1:1 (Shane *et al.*, 2006); sin embargo, otros parámetros que afectan el olor y el sabor son: cultivo iniciador, incubación, temperatura, condiciones de procesamiento (por ejemplo, tratamiento térmico, homogeneización) y propiedades composicionales de la leche (Soukoulis *et al.*, 2007).

Cuando se utilizan cultivos concentrados congelados, son requeridos para el desarrollo de la acidez periodos de incubación de 5 horas a 45 °C, 11 horas a 32 °C, o 14 a 16 horas a 29 o 30 °C. Utilizando iniciadores a 4% de nivel de inóculo, el periodo de incubación es de 2,5 a 3 h a 45 °C, 8 a 10 h a 32 °C, o 14 a 16 h a 20 o 30 °C (Hui, 1993). Una vez ocurre el periodo de incubación, el punto final de este proceso es definido por el valor del pH y por una acidez final, que puede variar entre 0,8-0,9% de ácido láctico.

Enfriamiento

Una vez se ha alcanzado la acidez deseable, el producto es enfriado a $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lo más rápidamente posible, esto permite un almacenamiento en frío (Hui, 1993). El conocimiento del comportamiento del yogur a lo largo del almacenamiento es importante, porque su vida útil se puede ver afectada por cualquier cambio en las características sensoriales, químicas o físicas, que son inaceptables para el consumidor. Estudios de cambios en estas características de calidad durante el almacenamiento podrían permitir calcular con mayor precisión la vida útil del producto (Salvador y Fiszman, 2004).

Ingredientes añadidos al yogur

Leche descremada, leche en polvo sin grasa, mantequilla, lactosuero, lactosa, lactoalbúmina, lactoglobulina, lactosuero modificado por eliminación completa o parcial de lactosa o minerales, endulzantes (sacarosa, azúcar invertido, jarabe refinado, melaza, fructosa, maltosa, jarabe de malta, miel, azúcar de maple...), saborizantes, aditivos y estabilizantes (Hui, 1993).