

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA***

**ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE PROCESO EN LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS
DEL YOGUR BATIDO**

presentado por

BERTA ANDUEZA ARANGUREN *(e)k*

aurkeztua

MASTER EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD EN LAS INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS

Junio, 2015 / 2015, *Ekaina*

ABSTRACT

The aim of this work was to study the effect of culture (Premium 1.0 and Premium 2.0), shearing speed (4,8 r.p.m and 9,47 r.p.m) and different cooling moments (beginning, end and cold product ready for packing) in the postacidification, texture, syneresis, number of grains and perimeter of grains of stirred yogurt. The postacidification, texture, syneresis, number of grains and perimeter of grains were determined after 7 days stored under refrigeration. With Premium 2.0 culture the gel strength and de number and perimeter of grains were higher than found with Premium 1.0 culture, in contrast to syneresis results. Gels stirred with low shear intensity had lower number and perimeter of grains but higher syneresis than fast shearing. The filter didn't have any effect on the properties of product. Nevertheless some effect of temperature was found in texture.

KEY WORDS

Stirred yogurt, culture, postacidification, texture, syneresis, grains, shearing, cooling.

RESUMEN

Se estudiaron los efectos del tipo de cultivo (Premium 1.0 y Premium 2.0), velocidad de agitación (4,8 r.p.m. y 9,74 r.p.m.) y momento del alisado y enfriamiento (inicio, final y producto enfriado y homogeneizado) en la postacidificación, textura, sinéresis y número y tamaño de grumos del yogur batido (receta griego azúcar). La postacidificación, textura, sinéresis y número y tamaño de grumos se determinaron a los 7 días de almacenamiento en refrigeración. Con el cultivo Premium 2.0 se obtuvieron yogures con mayor resistencia y menor sinéresis pero mayor número y perímetro de grumos. A velocidad de agitación lenta se determinaron menor número y perímetro de grumos pero mayor sinéresis que a velocidad rápida. La colmatación del filtro no tuvo efecto en la textura del producto pero sí la tuvo la diferencia de temperatura de enfriamiento.

PALABRAS CLAVE

Yogur batido, cultivo, postacidificación, textura, sinéresis, grumos, agitación, enfriamiento.

ÍNDICE GENERAL

1. ANTECEDENTES.....	5
1.1. ANTECEDENTES GENERALES.....	5
1.1.1. Inoculación e incubación.....	6
1.1.2. Agitación (ruptura del coagulo).....	8
1.1.3. Alisado	8
1.1.4. Enfriamiento.....	8
1.2. ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN.....	9
1.3. PROPIEDADES DE CALIDAD DEL YOGUR BATIDO	10
1.3.1. pH	10
1.3.2. Textura	11
1.3.3. Sinéresis.....	12
1.3.4. Grumos.....	13
2. OBJETIVO	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. ELABORACIÓN DEL YOGUR BATIDO (receta griego azúcar)	14
3.1.1. Procesado de la leche	14
3.1.2. Mezcla	15
3.1.1. Pasteurización.....	15
3.1.2. Fermentación	17
3.1.3. Agitación.....	17
3.1.4. Alisado	17
3.1.5. Enfriamiento	18
3.1.6. Envasado y refrigeración	18
3.2. TOMA DE MUESTRAS Y PLAN DE TRABAJO	18
3.3. DETERMINACIONES FISICO-QUÍMICAS	19
3.3.1. pH	19

3.3.2.	Resistencia del gel.	19
3.3.3.	Sinéresis.....	20
3.3.4.	Grumos	21
3.4.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1.	EFFECTOS DEL CULTIVO Y VELOCIDAD DE AGITACIÓN	22
4.1.1.	Postacidificación	22
4.1.2.	Resistencia del gel	26
4.1.3.	Sinéresis.....	30
4.1.4.	Número y tamaño de grumos	32
4.2.	EFFECTOS DEL PROCESADO POSTINCUBACIÓN EN LA UNIFORMIDAD DEL PRODUCTO 35	
5.	CONCLUSIONES	39
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resumen de muestras y análisis.....	19
Tabla 2.	Resultados de análisis de la varianza de parámetros de proceso y calidad del producto enfriado (yogur batido receta griego azúcar).	23
Tabla 3.	. Resultados de análisis de la varianza de parámetros de proceso y calidad del producto durante el enfriamiento y producto enfriado listo para envasar (yogur batido receta griego azúcar).....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Línea de producción general de yogur batido. (Tetra Pack 2003).	6
Figura 2.	Diagrama de flujo y parámetros de control.	16
Figura 3.	Imagen de la prueba de penetración	20
Figura 4.	Análisis de imagen de dos muestras.	21

Figura 5. Variación del pH _{D0} según el exceso de agitación de las muestras con C1 y C2 y límites de especificación	24
Figura 6. pH _{D0} y pH _{D7} de las muestras elaboradas con C1 respecto al tiempo de agitación. ...	25
Figura 7. pH _{D0} y pH _{D7} de las muestras elaboradas con C2 respecto al tiempo de agitación. ...	25
Figura 8. TXD ₇ de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al tiempo de incubación	26
Figura 9. TXD ₀ y TXD ₇ de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al pH de enfriamiento...	28
Figura 10. TXD ₀ y TXD ₇ de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al exceso de agitación.	28
Figura 11. TXD ₇ de muestras elaboradas con C1 en relación a la disminución de pH y al aumento del tiempo de agitación.....	29
Figura 12. TXD ₇ de muestras agitadas con A1 y A2 respecto al tiempo de agitación.	29
Figura 13. Sinéresis de muestras agitadas con A1 y A2 respecto al pH _{D0}	31
Figura 14. Nº de grumos de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al pH _{D0}	33
Figura 15. Nº de grumos de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al exceso de agitación.	34
Figura 16. Perímetro de grumos de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al tiempo de exceso de agitación.	35
Figura 17. Curva de viscosidad del yogur batido en relación al tratamiento mecánico. Tamine <i>et al.</i> (1980).	37
Figura 18. TXD ₇ de muestras elaboradas con C1 respecto a la temperatura de enfriamiento..	38
Figura 19. TXD ₇ de muestras elaboradas con C2 respecto a la temperatura de enfriamiento..	39

LISTA DE ABREVIATURAS

M1: Muestra tomada al inicio del enfriamiento (t=10) de la línea de enfriado.

M2: Muestra tomada el final (t=60) del enfriamiento de la línea de enfriado.

M3: Muestra tomada al final del enfriamiento del tanque de lanzamiento.

C1: Cultivo Premium 1.0.

C2: Cultivo Premium 2.0.

A1: Velocidad de agitación lenta (4,8 r.p.m.).

A2: Velocidad de agitación rápida (9,47 r.p.m.)

pH_{D0}: pH de la muestra en el momento de tomarla (día 0).

pH_{D7}: pH de la muestra a los 7 días de almacenamiento.

TXD₀: Resistencia del gel en el momento de la toma de muestra (día 0) (g).

TXD₇: Resistencia del gel a los 7 días de almacenamiento (g).

1. ANTECEDENTES

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

El yogur es un producto lácteo acidificado o fermentado. El nombre genérico de producto lácteo acidificado deriva del hecho de ser la leche la materia prima que se inocula con un cultivo de fermentos que convierte la lactosa en ácido láctico. Más concretamente el yogur se elabora por acción de bacterias lácticas *Streptococcus thermophilus* (*S.thermophilus*) y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* (*L.bulgaricus*). Como se ha dicho anteriormente, estas bacterias transforman el azúcar de la leche en ácido láctico produciendo también otras sustancias que le dan las características de sabor y aroma específicas del yogur (De Brabandere *et al.*, 1999). El proceso de producción de yogur cambia las propiedades de las proteínas de la leche de forma irreversible. Primero, la leche se fortifica con ingredientes lácteos para conseguir el nivel de proteína requerido. Después, esta leche se somete a un tratamiento térmico que produce la desnaturalización de las proteínas y su parcial fijación en las micelas de caseína. Finalmente, la producción de ácido láctico durante la fermentación provoca la desestabilización de las micelas provocando la gelificación de las proteínas (Remeuf *et al.*, 2003). La acidificación es responsable del proceso de coagulación. Las partículas de caseína se desestabilizan a pH 5,3-5,2 y su completa precipitación ocurre a pH 4,7-4,6. En las plantas de producción industrial de yogur la medida del pH se usa como control del proceso (De Brabandere *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2006). Además, la conversión de la lactosa en ácido láctico tiene un efecto conservador sobre la leche ya que el bajo pH de la leche acidificada inhibe el crecimiento de las bacterias de la putrefacción y de otros microorganismos perjudiciales prolongándose así la vida útil del producto.

Industrialmente los yogures se dividen en dos grandes grupos, yogur firme y yogur batido. A diferencia del yogur firme que fermenta y se enfría una vez envasado, el yogur batido fermenta en tanques y una vez alcanzado el pH requerido es necesario un post-procesado que consiste en agitación, alisado o filtrado, enfriamiento y envasado (Küçükçetin, 2008; Sodini *et al.*, 2004; Weidendorfer *et al.*, 2008). El yogur batido debe tener una textura suave y de viscosidad adecuada (Lee *et al.*, 2006), para ello, en las etapas de agitación y bombeo a través del alisador o filtro se rompe la red de proteínas del yogur (Küçükçetin, 2008; Renan *et al.*, 2009). En la figura 1 se muestra el esquema de una planta de producción de yogur batido.

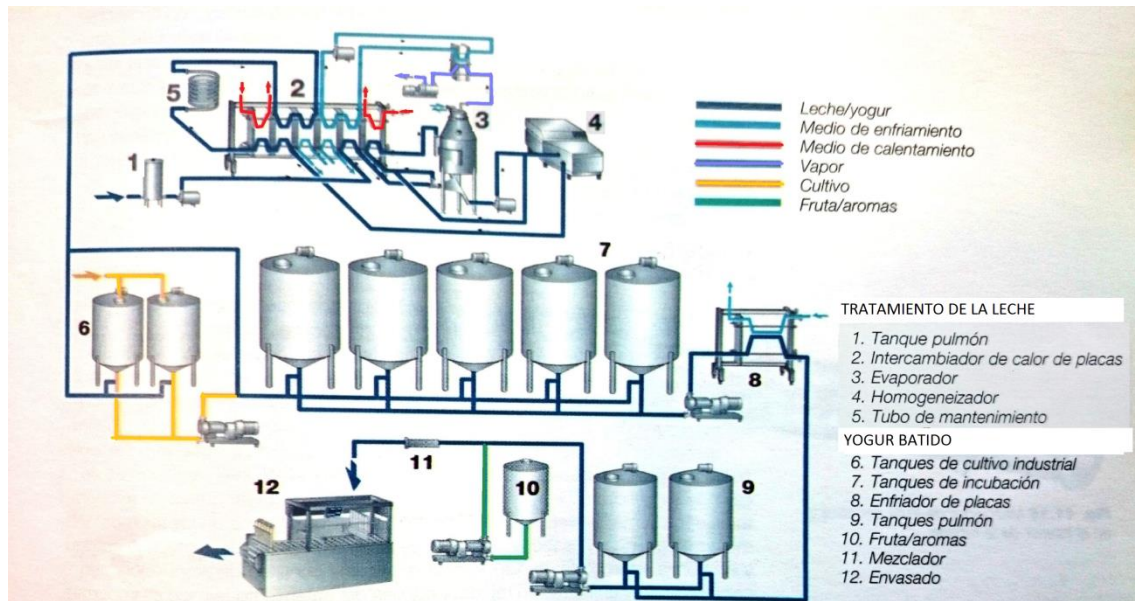


Figura 1. Línea de producción general de yogur batido. (Tetra Pack 2003).

Diversos factores deben ser controlados durante el proceso de fabricación industrial con objeto de obtener un yogur de alta calidad, con un adecuado sabor, aroma, viscosidad, consistencia, apariencia, libre de suero separado y con prolongado periodo de conservación. Algunos de estos factores son: la elección de la leche, normalización de la leche, aditivos lácteos, desaireación, homogeneización, tratamiento térmico, cultivo, agitación, enfriamiento diseño de la planta de tratamiento (Tetra Pack 2003). Defectos en la estructura del yogur batido tales como baja viscosidad, presencia de grumos y sinéresis están muy relacionados con el procesado mecánico del producto después de la incubación (Weidendorfer *et al.*, 2008). El presente trabajo se centra en el estudio de los efectos de las etapas de incubación, agitación, alisado o filtrado y enfriamiento.

1.1.1. Inoculación e incubación

En el yogur batido la incubación se realiza en tanques. Es el siguiente paso después del tratamiento de la leche y preparación de la mezcla establecida. Según la receta se mezcla la leche de partida estandarizada; nata, según el contenido graso que se desee; proteína, en caso de que fuera necesario y otros aditivos como estabilizantes, gelificantes.

Las bacterias se añaden directamente a la leche en forma concentrada, congelada o liofilizada y durante el tiempo de incubación no puede darse ninguna perturbación física.

Los cultivos comerciales son cultivos mixtos que consisten en una mezcla de diferentes cepas de *S.thermophilus* y *L.bulgaricus*. Entre ellas se establece un fenómeno de mutua estimulación del crecimiento, por ello es importante que se encuentren en la proporción adecuada, que

generalmente es 1:1 (Pérez *et al.* 2005). Los bacteriófagos son virus presentes en el aire que pueden atacar a las bacterias lácticas uniéndose a la superficie de las células e inyectando su ADN en su interior. Mediante este mecanismo los bacteriófagos se apoderan del metabolismo de las bacterias lácticas lo modifican y replican nuevos fagos dentro de la célula. A su vez, producen una enzima llamada lisina dentro de la célula que destruye la pared celular y así los nuevos fagos se liberan al medio que rodea la célula. Su acción da lugar a aumento en los tiempos del proceso de elaboración y deterioro de la calidad del yogur ya que se inhibe el desarrollo de las bacterias lácticas y disminuye la acidificación de la leche. Con el objeto de evitar ataques de fagos es importante la rotación de cultivos y la utilización de cepas resistentes. La elección del tipo de cepas es un factor influyente en las propiedades texturales del producto además de la temperatura de incubación.

El tiempo de incubación dependerá del tipo de cultivo. Un tiempo de incubación corto indica que el periodo de multiplicación es rápido. Tiempos cortos de fermentación y bajas temperaturas implican geles con menor viscosidad aparente, además, la velocidad de fermentación afecta al tamaño medio de partículas del yogur, por lo tanto, la viscosidad disminuye con la velocidad de incubación que a su vez implica un tamaño de partícula mayor (Benezech *et al.*, 1994). Küçükçetin *et al.* (2009) reportaron que existe una relación directa entre el número de moléculas que participan en la red tridimensional del gel y la fuerza o resistencia del mismo. Cultivos menos acidificantes y más lentos, interfieren en el número y la fuerza de los enlaces entre las partículas de caseína provocando que sea necesario aplicar una fuerza mayor para romperlos (Küçükçetin *et al.*, 2009). Beal *et al.*, (1999) mostraron que la postacidificación se ve afectada por el tipo de cepa utilizada y la temperatura de incubación. Además encontraron que la alta viscosidad está correlacionada con la baja actividad acidificante, lo que indica que el tiempo de fermentación afecta al desarrollo de la textura.

Otro factor a tener en cuenta es el pH final de la fermentación. Küçükçetin, (2008) concluyó que el número de grumos, el perímetro de grumos y la rugosidad visual disminuyen al aumentar el pH final de fermentación. Martin *et al.* (1999) analizaron la influencia del tipo de cultivo y temperatura de fermentación en las propiedades sensoriales del yogur batido y las compararon con las propiedades texturales medidas instrumentalmente. Encontraron un fuerte efecto de las variables estudiadas en los valores de textura, pero estas diferencias no fueron encontradas en el análisis sensorial de las muestras. Frøst *et al.* (2007) estudiaron como la textura de los productos lácteos tiene un papel muy importante en la percepción de la cremosidad aunque en el yogur batido las propiedades de flavor contribuyen más en esta percepción de la textura.

1.1.2. Agitación (ruptura del coagulo)

La etapa de agitación es un factor decisivo en la elaboración industrial del yogur batido. La ruptura del coagulo está directamente relacionada con la geometría del equipo usado y con las condiciones del proceso (Benezech *et al.*, 1994) así como la temperatura de agitación y la intensidad (Sodini *et al.*, 2004). Rönnegård *et al.* (1993) estudiaron la agitación a diferentes temperaturas y observaron mayor resistencia a la destrucción en los yogures a temperaturas más altas, no obstante, el efecto de la temperatura de agitación fue pequeño. Otros experimentos realizados con reómetros mostraron la relación entre la agitación y la pérdida de textura (Afonso *et al.*, 1999, Benezech *et al.*, 1994). Por ejemplo, a bajas velocidades de agitación el aumento de la viscosidad entre tiempos largos y cortos de agitación está entre un 93 % y un 200 % y a altas velocidades de agitación entre 313 % y 431 % (Sodini *et al.*, 2004). Weidendorfer *et al.* (2008) encontraron que el factor importante en la degradación de la estructura en la etapa de agitado es la velocidad del rotor más que la intensidad de cizalladura (Rasmussen *et al.*, 2007).

1.1.3. Alisado

Una vez que el yogur está batido, comienza el bombeo del mismo a través del filtro o alisador. En la producción industrial de yogur batido, después del agitado, la pasta se bombea a través de un filtro o alisador con el fin de romper más su estructura, homogeneizar el tamaño de partícula y suavizar la pasta. Pocos estudios se han publicado sobre el estudio de los efectos de esta etapa en la calidad física y textural del producto (Weidendorfer *et al.*, 2008). Cayot *et al.* (2008) utilizaron la extrusión de la pasta a través de una aguja para simular la etapa de bombeo a alisador de la producción industrial y con ello obtener diferentes tamaños de partícula del gel para relacionarlo con la percepción de la cremosidad del yogur batido. Ellos concluyeron que a tamaños de partícula mayores de 150 μm fue imposible percibir la cremosidad. Rasmussen *et al.* (2007) estudiaron el efecto del procesado mecánico analizando el efecto de 3 tamaños de poro de filtro diferentes en la viscosidad, sinéresis y presencia de grumos en el yogur batido. Concluyeron que el tamaño de poro influyó en la viscosidad y el número de grumos pero no en la sinéresis.

1.1.4. Enfriamiento

Al finalizar la etapa de incubación, agitación y alisado del yogur, la temperatura de éste debe bajarse rápidamente con el fin de detener la acidificación del mismo. El enfriamiento se realiza en un intercambiador de placas con un diseño especial que asegure un tratamiento mecánico

suave del producto. El intercambiador y la bomba deben diseñarse de forma que el vaciado del tanque no sea superior a 30-40 minutos con objeto de mantener una calidad uniforme del producto (Tetra Pack, 2003). Factores como la velocidad o caudal de enfriamiento y la temperatura del yogur batido influyen en su calidad, más concretamente en la textura del mismo. Tamine *et al.* (1980) cuestionaron la temperatura a la que debe enfriarse el yogur batido antes de ser envasado. Desde el punto de vista microbiológico *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* tienen limitado su crecimiento alrededor de 10-15 °C. Sin embargo en las instalaciones industriales el yogur se enfría a 22-24 °C para ser enviado a envasar y es una vez envasado cuando se manda a almacén refrigerado a 5 °C. No se han publicado muchos estudios sobre la influencia de la temperatura de enfriamiento en la acidificación y textura del yogur batido.

1.2. ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

En la fábrica, una vez realizada la mezcla siguiendo la receta establecida, la leche se pasteuriza y se lleva a tanques de 5000 l donde se siembra el cultivo iniciador estos tanques son los tanques maduradores. En la producción de la receta elegida para el estudio, la planta productiva utiliza dos tipos comerciales de fermento de uso rotativo con cambio semanal para evitar la contaminación por fagos. La empresa mostró su interés en saber si el uso de un cultivo u otro implica cambios en las características del producto ya que la calidad del producto debe ser lo más homogénea posible en las diferentes producciones.

La agitación para romper el gel se produce en los tanques maduradores mediante los agitadores de palas colocados en su interior. Al llegar a pH correcto los agitadores se ponen en marcha y no paran hasta el vaciado del tanque, es decir, la masa de yogur está agitando hasta su enfriamiento. Estos agitadores tienen dos velocidades, la lenta que es de 4,8 r.p.m., y la rápida de 9,47 r.p.m. El tiempo de agitación es de 10 minutos. La empresa mostró su interés en estudiar si la calidad del producto se ve afectada por la velocidad de agitación para poder optar por la mejor opción. Durante la toma de muestras y recopilación de datos de proceso se observó que la agitación comienza en el momento en que el sistema recibe la orden de pH correcto y sigue agitando hasta que el sistema recibe la señal de nivel bajo del tanque. Este tiempo de agitación no es constante en todas las producciones ya que hay factores como la no disponibilidad de tanque limpio donde enviar la pasta al ser enfiada, la necesidad de limpieza de línea o la necesidad de limpieza de línea envasadora que hacen que el tiempo de agitación sea mayor.

Una vez roto el coagulo, la pasta se bombea haciéndola pasar por un filtro o alisador, posteriormente por el enfriador y llega al tanque de lanzamiento, desde donde se bombeará a la envasadora. La empresa se interesó en conocer si durante el alisado se produce colmatación

del filtro y si ésta afecta a la calidad del producto, es decir, si la colmatación del filtro implica una variación de la calidad del producto al inicio y final del alisado y enfriamiento.

Como se ha indicado, los tanques maduradores tienen capacidad de 5000 l y la pasta, una vez agitada es bombeada al intercambiador de placas con una bomba positiva de caudal nominal 5000 l/h, por lo que el tiempo mínimo en que se realiza el enfriamiento de un tanque es de 60 minutos. Como se ha dicho el caudal no es constante a lo largo de todo el enfriamiento ni en los enfriamientos de distintas producciones. Durante la toma de muestras se observó que la temperatura del producto al inicio del enfriamiento no es la misma que al final del mismo homogeneizándose ésta en el tanque de lanzamiento antes de envasar. Esto es debido a que al final de la limpieza tanto de línea como del intercambiador de placas se realiza con agua a 90 °C y, aunque después se enfría con agua fría, al inicio del enfriamiento el producto no llega a alcanzar la temperatura de enfriamiento marcada hasta el paso de un tiempo. El producto, tras pasar por el intercambiador de placas va a otro tanque, llamado tanque de lanzamiento, donde espera hasta ser envasado. El tiempo de espera hasta envasar no es siempre el mismo, dependiendo de las necesidades de producción y del estado de las líneas envasadoras. Para determinar la temperatura de enfriamiento es importante tener en cuenta este tiempo de espera, ya que el producto puede seguir acidificándose por acción del cultivo si la temperatura de enfriamiento no es lo suficientemente baja (Tamine *et al.*, 1980).

1.3. PROPIEDADES DE CALIDAD DEL YOGUR BATIDO

La aceptación del yogur por parte del consumidor depende de la acidez, aroma y propiedades texturales del mismo (Beal *et al.*, 1999).

1.3.1. pH

Como se ha dicho anteriormente, la acidez del yogur es la consecuencia de la acidificación láctica obtenida al finalizar la incubación, mientras que la postacidificación es la que se da durante el almacenamiento. La acidificación está influenciada por la calidad de la leche, el tipo de cultivo utilizado, y la temperatura de incubación. La postacidificación, sin embargo, está influenciada por el tipo de cultivo, la temperatura de almacenamiento y el tiempo de almacenamiento (Beal *et al.*, 1999). En producción industrial la fermentación suele parar a pH 4.6, aunque esto viene marcado por el proveedor de cultivo y depende de las condiciones de proceso (Sodini *et al.*, 2004). Martin *et al.* (1999) reportaron que el yogur batido obtenido a pH entre 4.4-4.2 es menos suave (más grumos) y más viscoso que el obtenido a pH 4.8-4.7. El pH del yogur también afecta a la capacidad de retención de agua (Sodini *et al.*, 2004). Cuanto menor es el pH, más estable es

la estructura del gel, mayor será la cantidad de suero inmovilizado después del tratamiento mecánico y más enlaces contribuirán a la fuerza del gel (Weidendorfer *et al.*, 2008). Por tanto el control del pH del producto es importante en todo el procesado del yogur, y se usa como parámetro de control en la elaboración industrial del mismo. Algunos investigadores estudiaron cómo el control del pH del producto modifica las propiedades reológicas del yogur (Cayot *et al.*, 2008; Haque *et al.*, 2001). Ellos estudiaron la evolución de las propiedades reológicas del yogur batido conforme va disminuyendo su pH y concluyeron que el aumento de la intensidad de fermentación implica una mejora en las propiedades reológicas del yogur tanto antes como después de la agitación. De Brabandere *et al.* (1999) observaron que el tipo de curva de pH en la fermentación a temperatura óptima de un cultivo típico utilizado para yogur batido es una curva sigmoidea en la cual se observa al llegar a pH 4,4-4,3, la disminución de pH se ralentiza. Beal *et al.* (1999) concluyeron que el mecanismo de postacidificación es pH dependiente y que la mayor disminución de pH ocurrió durante los 7 primeros días de almacenamiento en refrigeración.

1.3.2. Textura

Para productos alimenticios, de acuerdo con *International Standard Organization*, la textura representa atributos reológicos y estructurales perceptibles por medios mecánicos, táctiles y, cuando es apropiado por receptores visuales y auditivos. Por lo tanto, la textura está relacionada con la percepción sensorial del producto pero puede ser evaluada mediante métodos instrumentales dando información relevante al respecto (Sodini *et al.*, 2004). El comportamiento reológico del yogur normalmente se expresa como “consistencia”, “firmeza”, y “resistencia”. Además el yogur batido, que es el resultado de la degradación tridimensional del coagulo gracias a la agitación o batido del mismo, es un material viscoelástico (Mortazavian *et al.*, 2009). La textura del yogur batido puede verse influenciada por la calidad de la leche de partida, la composición (receta), contenido de materia seca, tratamiento térmico, homogeneización, tipo de cultivo, temperatura y tiempo de incubación, agitación y estrés mecánico durante el enfriamiento, entre otros (Beal *et al.*, 1999; Karsheva *et al.*, 2013; Küçükçetin, 2008; Küçükçetin *et al.*, 2009; Martin *et al.*, 1999; Tamine *et al.*, 1980). En las fábricas productoras de yogur batido es muy frecuente la adición de gelificantes para conseguir la consistencia deseada. Pauletti *et al.* (2002) modelizaron la consistencia del yogur batido en relación a la cantidad y tipo de gelificante añadido. Los defectos más frecuentes relacionados con la textura del yogur son las variaciones en la viscosidad aparente y la sinéresis espontánea (Ares *et al.*, 2006). La obtención de textura y particularmente firmeza uniforme en las diferentes unidades de producción es una

meta en la producción de yogures (Chanasattru *et al.*, 2002). Un gran número de estudios se han realizado para estudiar el efecto de diferentes parámetros de proceso en la viscosidad aparente del yogur (Beal *et al.*, 1999; Cayot *et al.*, 2008; Küçükçetin, 2008; Küçükçetin *et al.*, 2011; Lobato-Calleros *et al.*, 2014; Martin *et al.*, 1999; Rasmussen *et al.*, 2007; Remeuf *et al.*, 2003; Renan *et al.*, 2009;). Sin embargo, como la viscosidad aparente disminuye irreversiblemente en función de la velocidad de cizalladura y el tiempo, al colocar la muestra en hueco del viscosímetro, la estructura del yogur se ve afectada (Ares *et al.*, 2006). Por lo tanto en las plantas de producción se prefieren otros métodos para caracterizar las propiedades texturales del yogur. Son métodos empíricos e imitativos como pruebas de penetración, análisis de perfil de textura y embudo de Posthumus (Ares *et al.*, 2006; Hellinga *et al.*, 1986). El test de penetración es uno de los métodos de medida de textura más simples y más usados. Es barato, puede relacionarse con medidas sensoriales y no requiere de tratamientos matemáticos. (Ares *et al.*, 2006; Benezech *et al.*, 1994). Las principales desventajas de este método empírico de medida de textura, cuando se compara con medidas fundamentales de propiedades reológicas, son el uso de escalas relativas y que los resultados parten de condiciones experimentales por lo que es difícil comparar resultados a menos que se hayan usado las mismas condiciones. (Ares *et al.*, 2006; Benezech *et al.*, 1994). Ares *et al.* (2006) validaron el test de penetración para detectar cambios en la textura del yogur. En las pruebas de penetración se miden varios parámetros como la fuerza de rotura del gel (dureza, unidad de fuerza) o la distancia a la que se da la rotura (consistencia, unidad de longitud), la pendiente de la curva fuerza-distancia (rigidez del gel, unidad de fuerza/longitud), la fuerza máxima requerida por la sonda para penetrar en el gel (resistencia del gel, unidades de fuerza) o la profundidad de penetración de la sonda en el gel en un tiempo definido (firmeza, unidades de longitud) (Mortazavian *et al.*, 2009). Sin embargo, algunos estudios se refieren a la resistencia del gel como firmeza (Damin *et al.*, 2009; Karsheva *et al.*, 2013). Atamian *et al.*, 2014; Bong *et al.*, 2014; Carson *et al.*, 2002; Damin *et al.*, 2009; Hess *et al.*, 1997; Karsheva *et al.*, 2013; Krasaekoopt *et al.*, 2004 y Renan *et al.*, 2009 analizaron los efectos de diferentes condiciones de procesado de yogur en alguna de las propiedades de textura anteriormente nombradas.

1.3.3. Sinéresis

La sinéresis espontánea es la separación del suero del gel sin la aplicación de ninguna fuerza externa. Está relacionada con la inestabilidad de la estructura y puede deberse a una nueva disposición de la matriz del gel (Lobato-Calleros *et al.*, 2014; Lucey *et al.*, 1998). Los productores de yogur intentan evitar la sinéresis aumentando el total de materia seca de la leche o añadiendo estabilizantes en el caso del yogur batido (Lucey *et al.*, 1998). La sinéresis se mide en porcentaje,

e indica el porcentaje de suero que se ha separado del gel. Otra forma de estudiar el mismo fenómeno es medir la capacidad de retención de agua, que lo que indica es el porcentaje de suero que ha quedado retenido en el gel. Diferentes factores del proceso influyen este fenómeno. Atamian *et al.* (2014), Karsheva *et al.* (2013), Küçükçetin (2008), Küçükçetin *et al.* (2011), Lobato-Calleros *et al.* (2014), Lucey *et al.* (1998), Rasmussen *et al.* (2007), Remeuf *et al.* (2003) y Weidendorfer *et al.* (2008), han incluido en sus investigaciones el estudio del efecto que diferentes parámetros de proceso tienen en la capacidad de retención de agua del yogur. Algunas de sus conclusiones fueron por ejemplo que a fermentaciones más largas y menores valores de pH fin de fermentación la sinéresis fue menor debido a que más enlaces contribuyen a la formación de la estructura del gel.

1.3.4. Grumos

Otros defectos texturales del yogur batido como la presencia de grumos son indeseables, ya que los consumidores demandan yogures suaves y uniformes (Küçükçetin, 2008; Küçükçetin *et al.*, 2009). La aparición de grumos, que generalmente ocurre durante la producción de yogur batido, es la aparición de partículas no deseadas (Küçükçetin, 2008; Tamine *et al.*, 1980). Está atribuida generalmente a la adición de las proteínas del suero (Rasmussen *et al.*, 2007). Algunas posibles causas de la aparición de grumos son: insuficiente tratamiento térmico, cambios en las condiciones de incubación, insuficiente desarrollo ácido, algunos tipos de cultivo, uso de excesiva cantidad de cultivo e inadecuada proporción proteínas de suero/caseína (Küçükçetin, 2008; Küçükçetin *et al.*, 2009; 2011; Lucey *et al.*, 1998). Küçükçetin (2008) estudió la influencia del tratamiento térmico y la proporción de caseína/proteínas de suero en la presencia de grumos en el yogur batido, y concluyó que tanto el número de grumos como el tamaño disminuye al aumentar la temperatura del tratamiento térmico y la proporción caseína/proteína de suero. Sin embargo Remeuf *et al.* (2003) estudiaron los mismos efectos y concluyeron que al aumentar el tratamiento térmico aumenta la presencia de grumos. El efecto del pH final de fermentación y el tratamiento térmico en la presencia de grumos fue estudiado por Küçükçetin (2008), y observó como el número y tamaño de grumos disminuyó con el aumento de la temperatura de tratamiento térmico y el pH fin de fermentación. El aumento de la intensidad de agitación después de la acidificación mostró un claro efecto negativo en la cantidad de grumos, sin embargo, el tiempo de agitación no (Rasmussen *et al.*, 2007). Con el objetivo de reducir este defecto en el yogur batido además de la agitación el producto se somete a otro tratamiento mecánico que es el alisado. Esta etapa consiste en bombear la pasta a través de un filtro manteniendo una sobrepresión constante (Tamine *et al.*, 1980).

La bibliografía indica que antiguamente la presencia de grumos se analizaba sensorialmente. Sin embargo hoy en día se usan métodos basados en análisis de imagen (Mortazavian *et al.*, 2009, Sodini *et al.*, 2004). Se enumeran, contabilizan y miden los grumos de perímetro mayor a 1 mm. Este límite de 1 mm podría discutirse ya que partículas menores de este tamaño pueden percibirse tanto visualmente como oralmente (Rasmussen *et al.*, 2007). Las características físicas y la forma de las partículas afectan a su percepción. En un estudio sobre la percepción de diferentes tipos de partículas, Engelen *et al.* (2005) concluyeron que partículas duras e irregulares se perciben mayores de lo que son, mientras que partículas blandas y redondeadas son más difíciles de percibir. Estas últimas son las características de los grumos del yogur batido, por tanto tamaños menores de 1 mm son difícilmente perceptibles.

2. OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es estudiar los efectos de diferentes parámetros de proceso en las propiedades de calidad del yogur batido (receta griego azúcar).

Para alcanzar este objetivo se siguen los siguientes objetivos específicos.

1. Estudio de los efectos del tipo de cultivo y velocidad de agitación en la calidad del producto después de la etapa de enfriamiento.
2. Estudio de la influencia del procesado post-incubación en la uniformidad de las propiedades de calidad del producto.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ELABORACIÓN DEL YOGUR BATIDO (receta griego azúcar)

Los yogures analizados se elaboraron en la línea de producción. La elaboración está controlada informáticamente. Los operarios controlan el fin de una etapa y el inicio de la siguiente fijándose en valores de parámetros de proceso y de producto fijados en los estándares de calidad.

Las etapas de procesado y los valores de los parámetros que se siguen en la planta se representan en la diagrama de flujo de la figura 2.

3.1.1. Procesado de la leche

La leche, a su llegada a la planta, se procesa con un precalentamiento previo, necesario para la correcta separación de la grasa, y una centrifugación. La leche desnatada se calienta a 85 °C durante 15 s para disminuir la carga microbiana y la nata a 92 °C durante 1 s. Ambas se

almacenan en tanques para su posterior utilización en la producción de diferentes recetas de yogur.

3.1.2. Mezcla

Siguiendo la receta del yogur griego azúcar de la planta, se realiza la mezcla necesaria con leche desnatada, nata y leche en polvo para conseguir los valores marcados por los estándares de calidad (figura 2). El control de los valores de % grasa, % proteína, % lactosa, %SNF (sólidos no fermentables) antes de la mezcla y después se realiza en el laboratorio de la planta de procesado mediante el uso del equipo Milkoscan basado en el análisis de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR).

La cantidad de mezcla realizada en las diferentes producciones estudiadas se determinó atendiendo a las necesidades de producción.

3.1.1. Pasteurización

Una vez realizada, la mezcla se homogeneiza y pasteuriza en el Pasteurizador 5000. Es un intercambiador de placas de la marca APV Duraflow. Las condiciones de homogeneización y pasteurización se indican en la figura 2. Antes de la incubación se determina de nuevo el % grasa, % proteína, % lactosa, %SNF (Fig.2) con el equipo Milkoscan para comprobar que están dentro de los valores de los estándares de calidad marcados para esa receta.

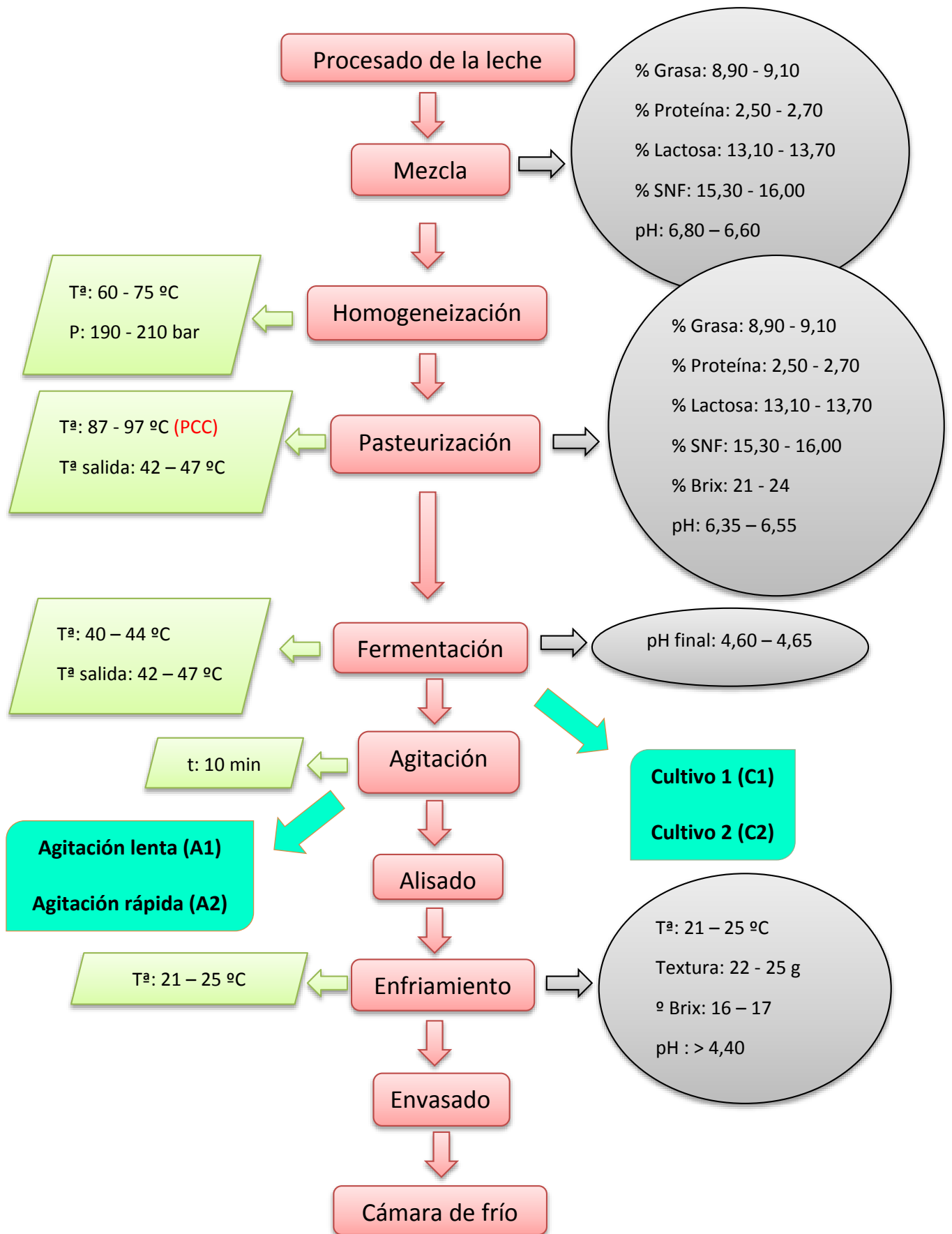


Figura 2. Diagrama de flujo y parámetros de control.

3.1.2. Fermentación

La mezcla ya pasteurizada pasa a tanques isotermos de marca APV con capacidad para 5000 litros de acero inoxidable provistos de camisa y agitadores de palas, llamados tanques maduradores, donde se siembra el cultivo correspondiente. La planta utiliza dos cultivos diferentes rotativos para prevenir la aparición de fagos. Son cultivos simbióticos de diferentes cepas de *Streptococcus thermophilus* (St) y *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus* (LB). Se estudió el efecto de los cultivos, Premium 1.0 (C1) y Premium 2.0 (C2), ambos de la casa comercial CHR Hansen, en las propiedades del producto. El tiempo de incubación varía dependiendo del cultivo utilizado y, en los casos estudiados, fue de 240-320 minutos con el C1 y 300-360 minutos con el C2. La temperatura de incubación es 40-44 °C. La incubación se da por finalizada en el momento en que se alcanza el pH marcado para la receta, en este caso 4,60-4,65.

3.1.3. Agitación

Al dar el pH correcto se empieza a agitar el gel en los tanques maduradores. El fin de esta etapa es romper el coagulo y batir el yogur. La velocidad de agitación puede ser de 4,8 r.p.m, que es la agitación lenta (A1), y de 9,47 r.p.m, que es la agitación rápida (A2). El efecto de la velocidad de agitación fue uno de los factores a tener en cuenta en el estudio. El tiempo de agitación es de 10 minutos. Es probable que se dé un exceso de tiempo de agitación debido a tiempos de espera producidos por diferentes causas como ausencia de tanque libre para enviar la pasta enfriada, limpieza de la línea de enfriamiento, limpieza de línea de envasado... El exceso de agitación no viene marcado ni está estandarizado en el proceso. Se observó que es un parámetro con mucha variabilidad y se tuvo en cuenta en el estudio.

3.1.4. Alisado

La pasta de yogur batido es bombeada por una bomba positiva de lóbulos de marca Waukesha y antes de llegar al intercambiador de placas se le hace pasar por un filtro o alisador. El filtro está limpio al inicio del enfriamiento y se va colmatando durante el enfriamiento. Interesó ver si esta colmatación del filtro y la consecuente variación de caudal influyen en la uniformidad de calidad del producto.

3.1.5. Enfriamiento

La pasta pasa por un intercambiador de placas y se enfría a 21 – 25 °C. Una vez enfriado el producto va a los tanques de lanzamiento en espera a ser envasado. El caudal nominal de la bomba es 5000 l/h, como se ha dicho anteriormente este caudal no es constante y varía entre enfriamientos y durante el tiempo de enfriamiento. El tiempo de enfriamiento depende de este caudal pero en las producciones estudiadas varió de 60 a 90 minutos. Las características del producto después del enfriamiento se indican en la figura 2.

3.1.6. Envasado y refrigeración

Desde el tanque de lanzamiento, el yogur batido se envía a envasar. Es en este momento donde se añaden las frutas y aroma, según la receta. Una vez envasado se lleva a la cámara de frío a 4°C durante 48 horas antes de su expedición.

3.2. TOMA DE MUESTRAS Y PLAN DE TRABAJO

Para la toma de muestras se colocó un toma-muestras en la conexión clamp situada en la línea de enfriamiento justo a la salida del intercambiador de placas antes del tanque de almacenamiento. Los operarios de control colocaron el toma-muestras antes de comienzo del enfriamiento a controlar. De este toma-muestras se tomaron muestras al inicio del enfriamiento (M1) y al final del enfriamiento (M2).

M1 se tomó siempre a los 10 minutos del comienzo de los enfriamientos a controlar, y M2 a los 60 minutos. A la toma de estas muestras se observó y anotó el caudal de enfriamiento, la presión antes del filtro y la presión después del filtro. Estas muestras sirvieron para analizar si durante los enfriamientos hay variación en las propiedades de calidad del producto estudiadas, su comparación con las del producto enfriado y listo para envasar y a qué son debidas.

Una vez finalizado el enfriamiento se tomó una muestra del tanque de lanzamiento (M3). Las M3 se usaron para estudiar los efectos del tipo de cultivo, velocidad de agitación y exceso de agitación en las propiedades del producto enfriado listo para envasar estudiadas.

Las tres muestras se tomaron por duplicado.

En la tabla 1 se observa el resumen de toma de muestras y análisis.

Tabla 1. Resumen de muestras y análisis

Muestra	Lugar	Momento	Nº Muestras	Parámetros de proceso controlados	Análisis D0	Análisis D+7
M1	Conexión clamp	t = 10 min	34	Caudal Presión antes del filtro Presión después del filtro	pH Temperatura Resistencia del gel	pH Temperatura Resistencia del gel Sinéresis Nº y tamaño de grumos
M2	Conexión clamp	t = 60 min	34	Caudal Presión antes del filtro Presión después del filtro	pH Temperatura Resistencia del gel	pH Temperatura Resistencia del gel Sinéresis Nº y tamaño de grumos
M3	T. Lanzamiento	Fin enfriamiento	34	Caudal Presión antes del filtro Presión después del filtro	pH Temperatura Resistencia del gel	pH Temperatura Resistencia del gel Sinéresis Nº y tamaño de grumos

3.3. DETERMINACIONES FISICO-QUÍMICAS

3.3.1. pH

El pH se midió con el pH-metro Crison 25 (Hach Lange Spain, S.L.U.) debidamente calibrado. La medida del pH se realizó, en el laboratorio de la planta, en el momento de la toma de muestras (pHD0) y a los 7 días de almacenamiento de las muestras en refrigeración (pHD7). Las medidas de pH se realizaron siempre por triplicado.

3.3.2. Resistencia del gel.

La medida de la textura se realizó mediante una prueba de penetración siguiendo el método usado en la planta para el control de calidad de su producto. La prueba de penetración se realizó

utilizando el equipo CT3 Texture Analyzer (Brookfield Engineering Laboratories, Inc. Middleboro, Massachusetts, USA) debidamente calibrado. La sonda es un cilindro acrílico con un peso de 4,5 g, que se desplaza con una velocidad de pre-test y test de 2,0 mm/s y penetra en la muestra 18 mm. La muestra se colocó centrada bajo la sonda dejando una distancia entre muestra y sonda de 0,5 cm. La resistencia del gel se calculó como la máxima fuerza de penetración necesaria para llegar a la profundidad fijada. La fuerza se midió en g. La figura 4 muestra la imagen de uno de los análisis.

La prueba de penetración se realizó a una temperatura ambiente de 22°C, y se midió la temperatura de las muestras.

El análisis se realizó en el momento de la toma de muestras (TXD0), a la temperatura a la que se tomaron las muestras después del enfriamiento, y después de una semana de almacenamiento (TXD7) de las muestras en refrigeración, a 6 °C, temperatura de consumo del producto.

El análisis se realizó siempre por duplicado.



Figura 3. Imagen de la prueba de penetración

3.3.3. Sinéresis

La medida de la sinéresis de las muestras de yogur se realizó a los 7 días de almacenamiento en refrigeración usando el método de centrifugación descrito por Küçükçetin (2008). Las muestras de yogur ($m_0=25g$) se centrifugaron a 25 °C durante 25 min a 4136 xg en la centrífuga Medifriger BL-S (JP Selecta, Abrera, Barcelona), en el laboratorio del departamento de Tecnología de

Alimentos de Universidad Pública de Navarra. El suero separado se retiró y pesó (m). La sinéresis se calculó mediante el uso de la siguiente fórmula

$$\text{Sinéresis} = \frac{m}{m_0} \times 100$$

La medida de la sinéresis se realizó por triplicado.

3.3.4. Grumos

La grumosidad de las muestras se analizó a los 7 días de almacenamiento en refrigeración. Se midió mediante análisis de imagen utilizándose una adaptación del método descrito por Remeuf *et al.*, (2003). Una muestra de 0.3 g de yogur se disolvió en 3 ml de agua destilada, se extendió en una placa de PVC de 57 mm de diámetro y se colocó en una placa iluminada. La muestra diluida se fotografió con una cámara digital en color (Sensor de imagen Exmor RS y 20,7 MP). El tratamiento de la imagen se realizó con el programa ImageJ. Los grumos mayores de 1 mm se enumeraron y se evaluaron las medias de los perímetros de dichos grumos Küçükçetin (2008) y Remeuf *et al.* (2003). El valor se dio en unidades de número de grumos por 0.3 g de muestra y perímetro medio de grumo por 0.3 g de muestra. La figura 4 muestra imágenes de la determinación del número y tamaño de grumos de dos muestras.

El análisis se realizó después de 7 días de almacenamiento de las muestras en refrigeración. Se realizó siempre por triplicado.

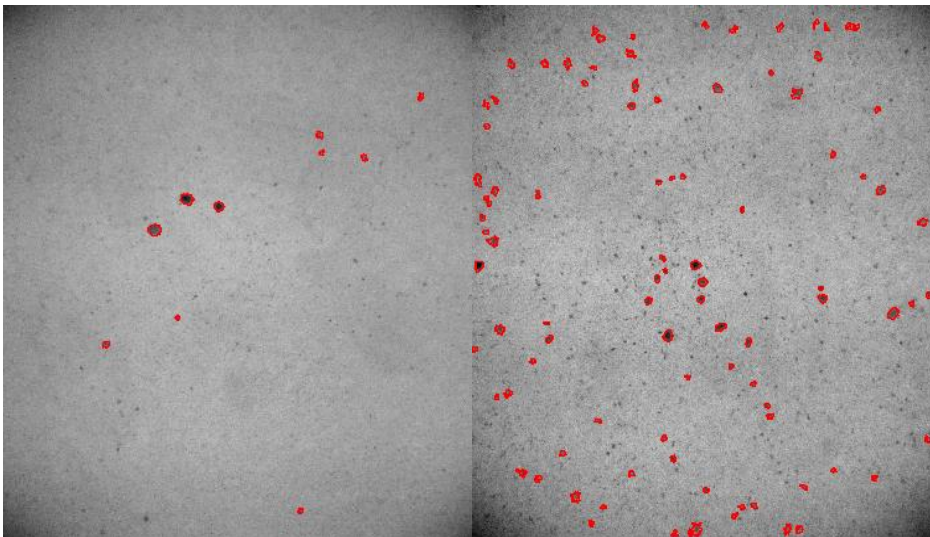


Figura 4. Análisis de imagen de dos muestras.

3.4. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para el estudio del efecto del cultivo (C1, C2) y velocidad de agitación (A1, A2), se realizó un diseño factorial de 2 factores y 2 x 2 niveles. Se realizaron ANOVAs para ver si las variables de proceso temperatura de enfriamiento y exceso de agitación varían entre tratamientos y para estudiar el efecto del tipo de cultivo y la velocidad de agitación en las propiedades de calidad del producto. La prueba de Duncan se utilizó para la comparación de medias.

Para estudiar la uniformidad de la calidad del producto durante el alisado y enfriamiento y su comparación con el producto enfriado listo para envasar, se analizó la diferencia en las propiedades de calidad del producto durante el inicio y fin del enfriamiento y se compararon con las del producto enfriado (M1, M2, M3)..

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFFECTOS DEL CULTIVO Y VELOCIDAD DE AGITACIÓN

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos (media \pm desviación estándar) para los parámetros de proceso y de calidad del producto enfriado (M3), así como los resultados de los correspondientes análisis de la varianza realizados.

4.1.1. Postacidificación

Todas las elaboraciones comienzan a agitar cuando el pH alcanza el valor establecido en los estándares de calidad (4,60-4,65), y deben agitarse 10 minutos. El exceso de tiempo de agitación es un parámetro del proceso que no se controla y viene determinado por causas externas al estudio. Durante este tiempo de agitación, en el que el gel sigue sin enfriarse, su pH va disminuyendo. Como puede observarse en la figura 5, tiempos de agitación mayores implicaron pH_{D0} menores. Además el exceso de agitación fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en las producciones elaboradas con C1, con una media de $62,8 \pm 12,3$, que con C2, con una media de $25,5 \pm 10,7$.

Tabla 2. Resultados de análisis de la varianza de parámetros de proceso y calidad del producto enfriado (yogur batido receta griego azúcar).

	C1	C2		A1	A2	
Nº de muestras	7	10		9	8	
Tiempo incubación (minutos)	283,3 ± 7,9 b	325,5 ± 6,6 a	***	-	-	ND
Exceso agitación (minutos)	62,8 ± 12,3 a	25,5 ± 10,7 b	*	23,4 ± 10,9 a	64,91 ± 11,7 b	*
pHD0	4,41 ± 0,02 b	4,50 ± 0,02 a	*	-	-	ND
pHD7	4,31 ± 0,03 a	4,36 ± 0,03 a	NS	-	-	ND
TXD0 (g)	22,02 ± 0,25 a	22,17 ± 0,21 a	NS	22,17 ± 0,22 a	22,04 ± 0,23 a	NS
TXD7 (g)	58,24 ± 1,88 b	68,30 ± 1,57 a	***	63,79 ± 2,41 a	64,57 ± 2,56 a	NS
Sinéresis (%)	43,52 ± 1,64 a	47,73 ± 1,37 a	NS	48,10 ± 1,41 a	43,06 ± 1,50 b	*
Nº grumos (nº grumos/0,3 g)	26 ± 16 b	93 ± 22 a	*	43 ± 26 a	80 ± 27 a	NS
Tamaño grumos (mm)	1,16 ± 0,10 a	1,42 ± 0,09 a	NS	1,28 ± 0,10 a	1,34 ± 0,11 a	NS

C1, C2: Cultivos Premium 1.0 y Premium 2.0.

A1, A2: Velocidad de agitación lenta (4,8 r.p.m) y agitación rápida (9,47 r.p.m).

pHD0, pHD7 : pH en el momento de la toma de muestras y a los 7 días de almacenamiento en refrigeración.

TXD0, TXD7 : Resistencia del gel al tomar la muestra y a los 7 días de almacenamiento en refrigeración.

Niveles de probabilidad asociados con ANOVA de dos factores.

*** $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; NS, no significativo; ND, no determinado.

Los tiempos de incubación de las muestras elaboradas con C2 (325,55 ± 6,6) fueron significativamente superiores ($p < 0,001$) a las elaboradas con C1 (283,3 ± 7,9), lo que indica que el fermento C1 tiene una velocidad de multiplicación más rápida que el C2. Debido a estas causas, el pH de la toma de muestras fue inferior al establecido en los estándares de calidad, y además se dieron claras diferencias ($p < 0,05$) en el pH0 de las muestras producidas con C1 (4,41 ± 0,02) y las producidas con C2 (4,50 ± 0,02). En la figura 5, que muestra los límites de especificación para pH fin de fermentación (pH al que debe enfriarse el gel) y los pH0 de las muestras tomadas de las producciones con C1 y C2, puede observarse que los pH0 de las elaboraciones con C1 fueron inferiores a los pH0 de las elaboraciones con C2 y que todos están fuera de especificación.

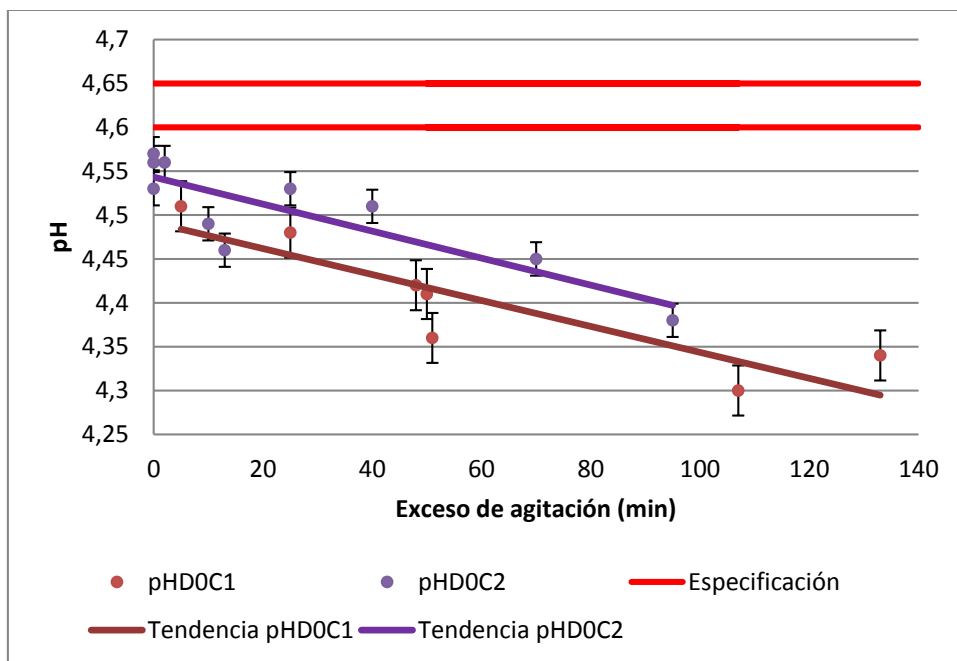


Figura 5. Variación del pHDOC según el exceso de agitación de las muestras con C1 y C2 y límites de especificación

Durante el almacenamiento en refrigeración se da la postacidificación del yogur debido a la acción de *L. bulgaricus* (Damin *et al.*, 2009; Tamine *et al.*, 1980). La acidificación se ve afectada por el tipo de cultivo y el pH final de fermentación (Beal *et al.*, 1999). En este caso no se encontraron diferencias significativas en los valores de pHDOC en las muestras producidas con C1 y las producidas con C2 ($4,31 \pm 0,03$; $4,36 \pm 0,03$). Los valores de pH durante el almacenamiento, sólo en 2 ocasiones, llegaron a 4,20, que es el valor límite marcado por los estándares de calidad. La media de la postacidificación fue de $0,10 \pm 0,04$ y $0,15 \pm 0,03$ unidades de pH en las muestras elaboradas con C1 y C2 respectivamente. Estos valores están en el rango de los obtenidos por Damin *et al.* (2009) en su estudio sobre la postacidificación de yogur batido suplementado con proteínas de diferente naturaleza. De Brabandere *et al.* (1999) observaron que al llegar a valores de pH 4,4 - 4,3 la disminución del pH se ralentiza. Beal *et al.* (1999) concluyeron que la mayor post-acidificación se da durante los primeros 7 días de almacenamiento. En las gráficas 6 y 7 se muestra como, tanto en las producciones elaboradas con C1 como en las elaboradas con C2, a pHDOC menores la postacidificación es menor. Es decir, valores menores de pHDOC no implicaron rigurosamente valores menores de pHDOC, la diferencia entre ellos disminuyó a valores menores de pHDOC. Esta observación fue documentada por Beal *et al.* (1999), que observaron que la disminución de pH durante el almacenamiento fue más pronunciada en yogures procesados a pH 4,8 que a pH 4,4. Por lo tanto, el valor de pH del producto no será menor de 4,20 durante toda su vida útil independientemente del cultivo utilizado y de que, debido a los tiempos de

espera o los tiempos de exceso de agitación, el pH_{D0} esté por debajo de los límites marcados por la especificación para el enfriamiento del producto.

La velocidad de agitación no tuvo ningún efecto en la evolución del pH de las muestras.

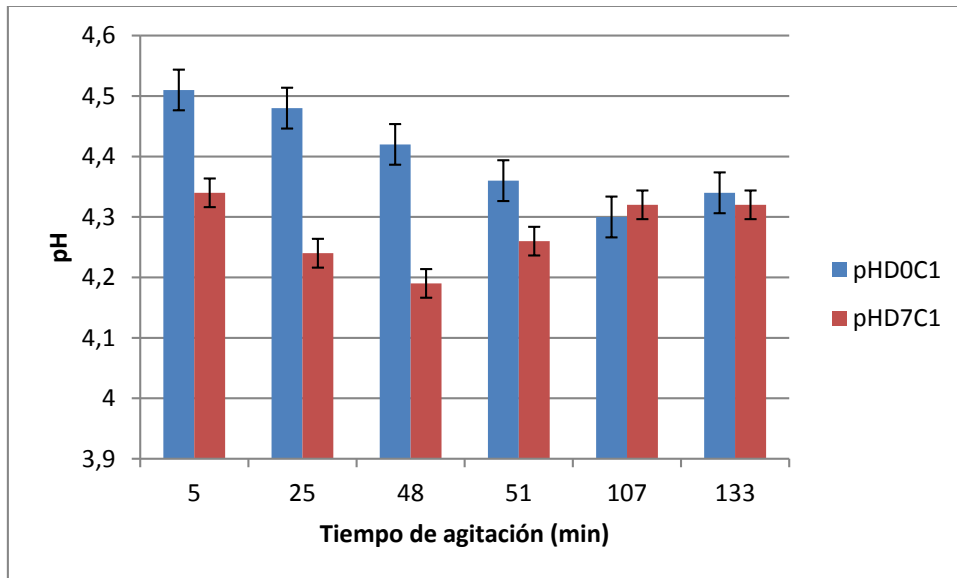


Figura 6. pH_{D0} y pH_{D7} de las muestras elaboradas con C1 respecto al tiempo de agitación.

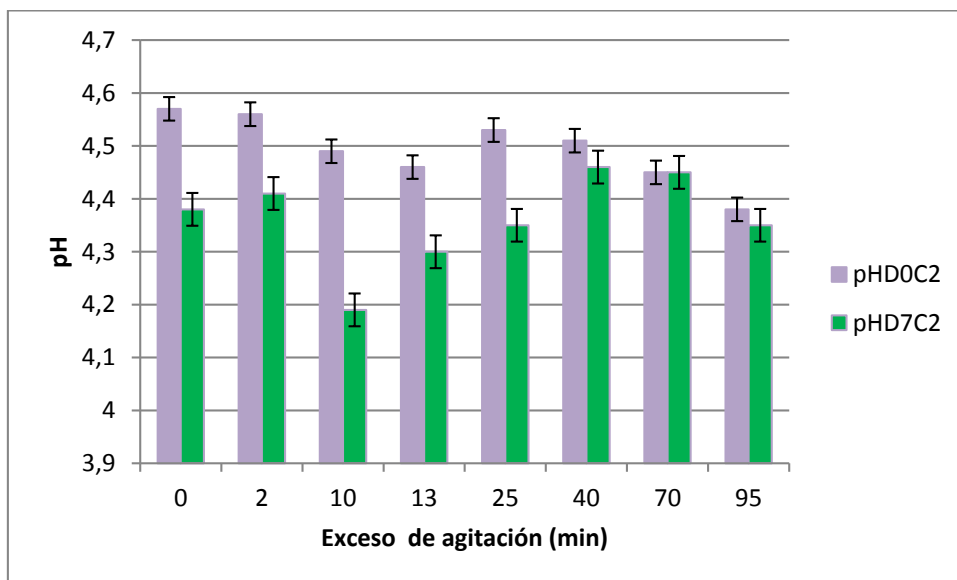


Figura 7. pH_{D0} y pH_{D7} de las muestras elaboradas con C2 respecto al tiempo de agitación.

4.1.2. Resistencia del gel

En la medida de TXD0 no se han encontrado diferencias significativas (tabla 2) dependiendo del tipo de cultivo ni de la velocidad de agitación y los valores siempre han estado dentro del rango de especificación marcado 21-25 g. En cuanto a la TXD7 se encontraron diferencias significativas ($p > 0.001$) dependiendo del tipo de cultivo utilizado. Las elaboraciones con C2 dieron valores claramente superiores a las producidas con C1 (tabla 2). Como se ha indicado en el apartado anterior, muestras producidas con C1 y C2 tardaron $283,3 \pm 7,9$ y $325,5 \pm 6,6$ minutos respectivamente en alcanzar el pH requerido para agitar y enfriar el producto. Estas diferencias fueron debidas al diferente carácter acidificante de los dos tipos de cultivos. Las muestras elaboradas con C1 han llegado al pH requerido antes que las elaboradas con C2 por lo tanto el C1 tiene una mayor capacidad acidificante que el C2, es más rápido. A su vez, los valores de la resistencia del gel medidos son significativamente mayores en las producciones con C2 que con C1. Resultados que concuerdan con los de Beal *et al.* (1999), Benezech *et al.* (1994), Hess *et al.* (1997) y Küçükçetin *et al.* (2009), que analizaron la influencia de dos tipos de cultivos en la textura del yogur batido llegando a la conclusión de que yogures producidos con cultivos que necesitan tiempos de fermentación más largos eran más viscosos que los que necesitaron tiempos de fermentación cortos. Esto se debe a que el tipo de cultivo interfiere en el número y fuerza de los enlaces entre las partículas de caseína, lo que implica la necesidad de aplicar más fuerza para romperlos. En la figura 8 puede verse que el C2 tuvo tiempos de incubación mayores que el C1, y que las muestras elaboradas con C2 tienen valores mayores de TXD7 que las elaboradas con C1.

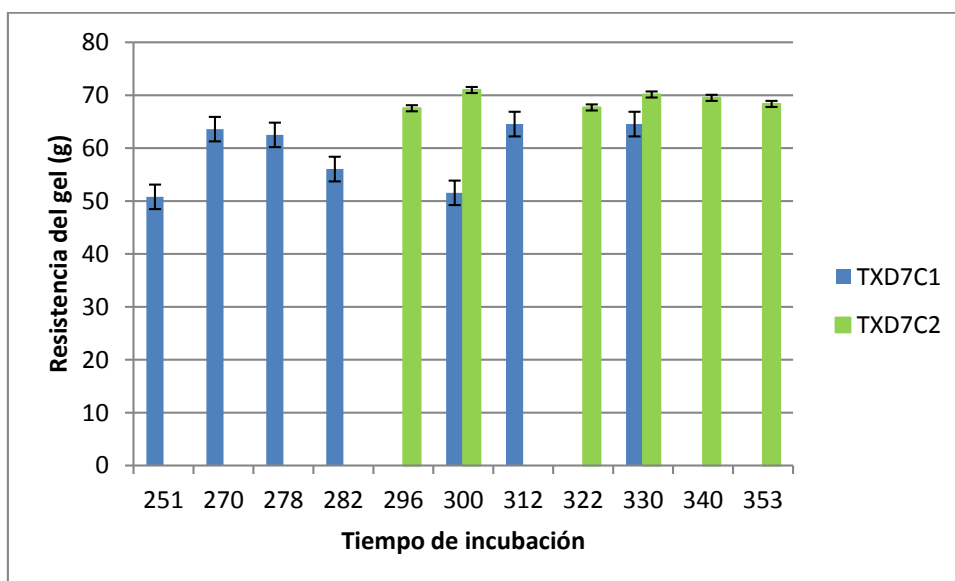


Figura 8. TXD7 de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al tiempo de incubación

La velocidad de fermentación de C1, unido al hecho de que las elaboraciones con C1 han tenido más tiempo de exceso de agitación que las de C2, implica diferencias significativas en el pH al cual se enfriaron las muestras. Los pH_{D0} de las muestras elaboradas con C1 fueron significativamente inferiores a los pH_{D0} de las elaboradas con C2. Beal *et al.* (1999) analizaron cómo afectan diferentes tipos de cultivos y pH fin de fermentación a la viscosidad del yogur batido y observaron que el efecto del pH final de fermentación es muy pronunciado. Ellos concluyeron que la viscosidad aumenta al disminuir el pH debido a un aumento en el tiempo de fermentación. Martin *et al.* (1999), estudiaron la influencia de la fermentación en las propiedades sensoriales del yogur batido, y concluyeron que en fermentaciones más largas y pH menores la firmeza del gel y la resistencia del mismo son mayores. Renan *et al.* (2009) y Weidendorfer *et al.* (2008) también encontraron claras relaciones entre el pH de enfriamiento del yogur y la viscosidad y resistencia del gel. En sus estudios, mayores tiempos de fermentación implican pH menores y mayor textura del yogur. En el presente estudio las diferencias en los valores de pH_{D0} no sólo pueden relacionarse con la diferencia en velocidad de fermentación de los dos cultivos, sino que también están influenciadas por los tiempos de espera hasta ser enfriado, una vez alcanzado el pH requerido (exceso de tiempo de agitación), es decir, en este caso tiempos de incubación más largos no implican pH más bajos. Como se ha dicho anteriormente, las producciones elaboradas con C2, que necesitan más tiempo de incubación para llegar al pH requerido, dieron valores de TXD7 mayores que los elaborados con C1 (figura 8). Estos valores de TXD7 de las muestras elaboradas con C2 se mantuvieron constantes y uniformes independientemente del exceso de agitación y del pH_{D0} de las muestras, como puede verse en las figuras 9 y 10. Sin embargo, en las producciones elaboradas con C1, que dieron valores de TXD7 menores que las elaboradas con C2, se observó que a menores valores de pH, se tendió a mayores valores de TXD7 (figura 9), resultados que son consistentes con los estudios anteriormente citados. Tamime *et. al* (1980) publicaron que el estrés mecánico producido al yogur entre la fermentación y el envasado provoca grandes daños en la estructura y en la textura del mismo, lo que tiene relación con la disminución del valor de textura en las muestras más agitadas. En la figura 10 se puede ver que a valores muy altos de exceso de tiempo de agitación la TXD7 tiende a disminuir.

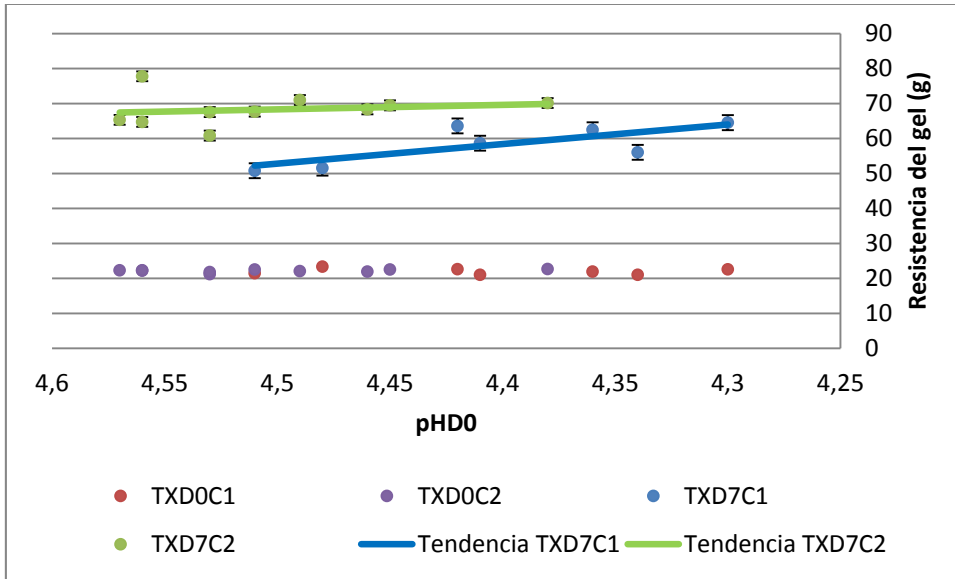


Figura 9. TXD0 y TXD7 de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al pH de enfriamiento.

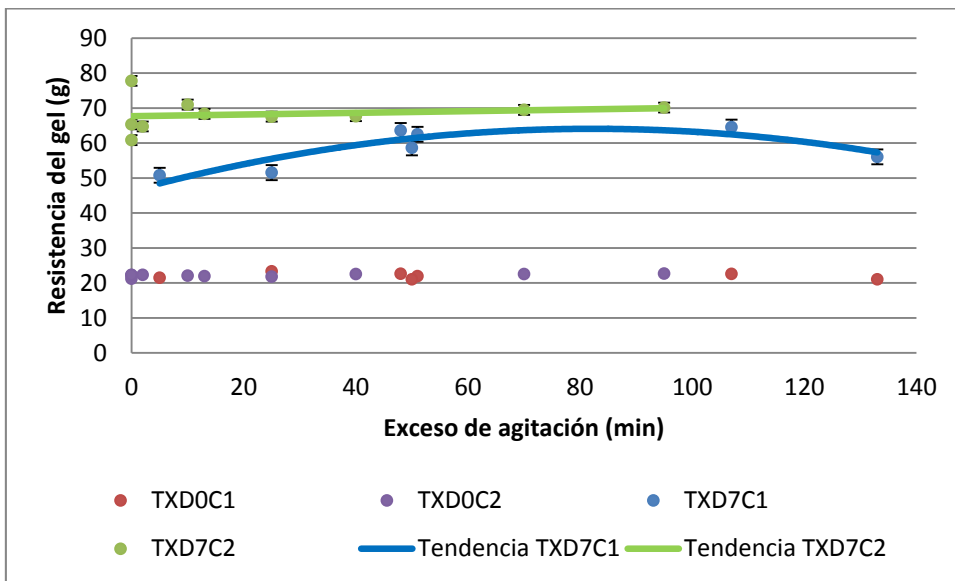


Figura 10. TXD0 y TXD7 de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al exceso de agitación.

Se observó un efecto contrapuesto en las producciones elaboradas con C1 en la textura debido al tiempo de exceso de agitación, ya que tiempos de exceso de agitación implican una disminución del pH, que hace que la resistencia del gel sea mayor, pero también implica un mayor estrés mecánico que hace que disminuya. En la figura 11 puede observarse como la resistencia del gel aumenta al disminuir el pH, pero llega un momento que empieza a disminuir aunque el pH siga disminuyendo debido al aumento de estrés mecánico. En las producciones elaboradas con C2 el valor de TXD7 tendió a ser más constante.

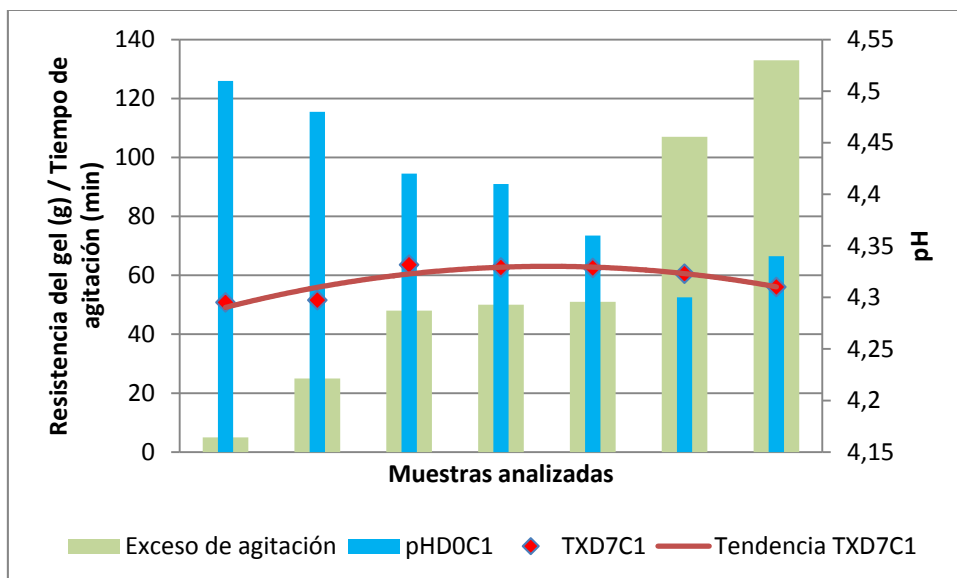


Figura 11. TXD7 de muestras elaboradas con C1 en relación a la disminución de pH y al aumento del tiempo de agitación.

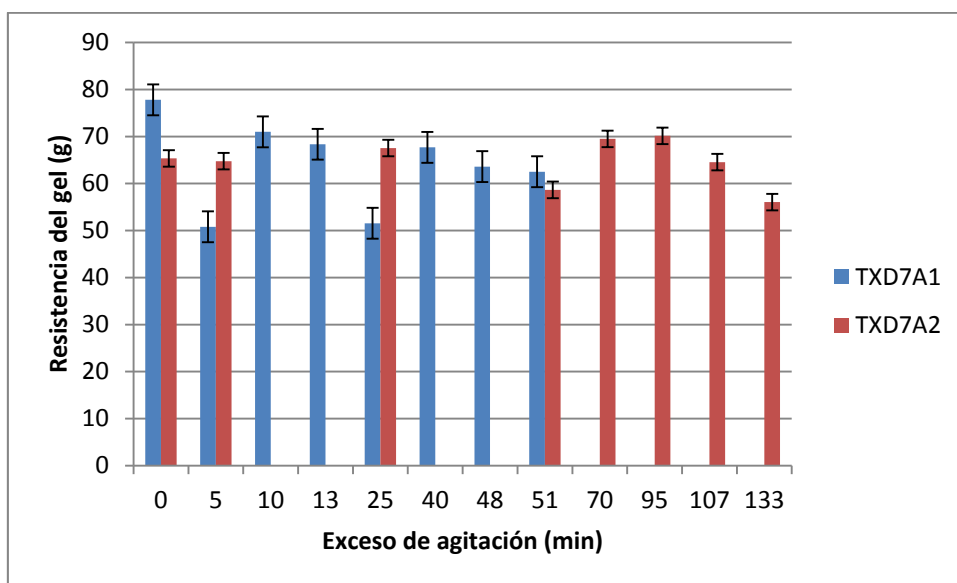


Figura 12. TXD7 de muestras agitadas con A1 y A2 respecto al tiempo de agitación.

Tamine et al. (1980) reportaron que la velocidad de agitación para romper el coagulo después de la fermentación es crítica en cuanto a la textura del yogur batido. Benezech *et al.* (1994) mostraron cómo la ruptura del coagulo está relacionada con la geometría del equipo, la temperatura de agitación y la intensidad. Rönnegård *et al.* (1993) observaron que se dio mayor resistencia a la rotura del coagulo a temperaturas altas aunque no fue un efecto significativo. En el presente estudio el efecto de la agitación rápida o agitación lenta durante los 10 minutos

de ruptura del coágulo en la TXD0 y la TXD7 tampoco fue significativo. La temperatura de ruptura siempre fue la misma, 42 ± 1 °C, pero el exceso de tiempo de agitación fue significativamente menor ($p < 0,05$) entre producciones agitadas con la velocidad lenta A1 y las agitadas con la velocidad rápida A2 (tabla 2). En la figura 12 se observa que los mayores valores de exceso de agitación se dieron en las producciones agitadas con la velocidad rápida y que a altos tiempos de exceso de agitación la textura tiende a disminuir. Este hecho puede enmascarar los efectos de la velocidad de agitación en la textura del yogur.

Los valores de TXD0 estuvieron entre 21,05 g y 23,35 g, dentro de especificación, independientemente del cultivo utilizado y la velocidad de agitación (tabla 2). El pH al que se enfriaron las muestras y del exceso de tiempo de agitación al que fueron sometidas tampoco parecen influir en los valores de TXD0, como puede observarse en las figuras 9, 10. Sin embargo se observó que el rango de valores de TXD7 fue de 50,8 - 77,8 g. El producto ganó resistencia durante el almacenamiento. Afonso et al. (1999) determinaron que durante el tiempo de almacenamiento aumentó la degradación de la estructura del yogur batido debido a la postacidificación y a la proteólisis pero que la viscosidad fue aumentando al aumentar el tiempo de almacenamiento debido a la sinéresis, hidratación de proteínas y producción de exopolisacáridos. Resultados que concuerdan con los de este estudio. Por otro lado no se encontró correlación entre los valores de TXD0 y los de TXD7 ($p = 0.33$), lo cual nos indica que los valores de TXD0 no son indicativos de la textura que tomará el producto una vez envasado y almacenado.

4.1.3. Sinéresis

Sodini et al. (2004) mostraron que diferentes cepas, según su capacidad acidificante o texturizante, tienen capacidades diferentes de retención de suero. Con cultivos con mayor capacidad acidificante y menor capacidad texturizante se obtienen yogures con menor capacidad de retención del suero. En este estudio no se han encontrado diferencias significativas en la sinéresis de las muestras elaboradas con C1 y C2 (tabla 2). Aunque los valores de sinéresis de las muestras producidas con C1 ($43,52 \pm 1,64$) fueron menores que las producidas con C2 ($47,73 \pm 1,37$), diferencias debidas no sólo al tipo de cultivo, sino también a la diferencia de pH_{D0} de las muestras. El cultivo C2 es un cultivo menos sensible a las diferencias en los parámetros del proceso, como se ha visto también en el estudio de la textura, por tanto, su pH_{D0} no varió mucho de unas muestras a otras y debido a ello tampoco su sinéresis. Sin embargo el C1 es un cultivo más sensible a las variaciones en el proceso, y tuvo más variabilidad en su pH_{D0}, y debido a ello, en los valores de sinéresis, que fue menor en muestras con pH_{D0}

menores. Estos resultados se muestran consistentes con los de Küçükçetin *et al.* (2008) y Weidendorfer *et al.* (2008) que concluyeron que a valores bajos de pH fin de fermentación se obtuvieron yogures con mayor capacidad de retención de suero.

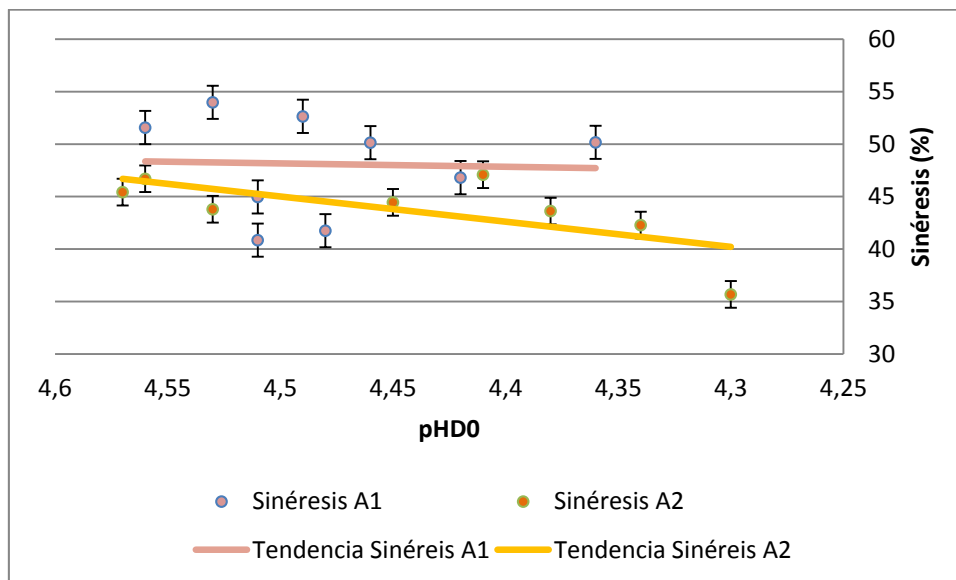


Figura 13. Sinéresis de muestras agitadas con A1 y A2 respecto al pH D0.

La rotura del coagulo es un punto crítico que influye en la capacidad del producto de retener el suero inmovilizado (Benezech *et al.*, 1994). En las muestras agitadas con la velocidad rápida (A2) se obtuvieron valores significativamente menores ($p < 0,05$) de sinéresis que en las agitadas con la velocidad lenta (A1). Como puede observarse en la figura 13, en las producciones agitadas con A2, se determinaron menores valores de pH D0 que en las agitadas con A1, por lo tanto las diferencias encontradas en la sinéresis, además de a la velocidad de agitación, fueron debidas a estas diferencias de pH, relación estudiada por Küçükçetin (2008) que concluyó que los valores de sinéresis disminuyen al disminuir el pH final de fermentación, es decir en fermentaciones más largas, donde el pH antes de la rotura del gel baja, la sinéresis será menor y Weidendorfer *et al.* (2008) que observaron que a menores pH de fin de fermentación se dieron mayores valores de suero inmovilizado y más enlaces contribuyeron a la formación de la estructura del gel. Además Renan *et al.* (2008) encontraron correlación entre la capacidad de retención del suero y la resistencia del gel. Concluyeron que a pH 4,4, geles con altos valores de firmeza retienen mejor el suero. Conclusiones consistentes con nuestros resultados en parte, ya que como se ha indicado anteriormente, a menores pH D0, se dieron menores valores de sinéresis (figura 13) y mayores valores de TXD7, sólo en las producciones elaboradas con C1 (figura 9). Las diferencias

de pH_{D0} entre las producciones agitadas con A1 y con A2, se debieron al exceso de agitación, que fue significativamente mayor en las producciones agitadas con A2 ($64,91 \pm 11,17$) que en las agitadas con A1 ($23,4 \pm 10,9$), factor que ha influido en la textura de las muestras, ya que como se ve en la figura 10, a tiempos de exceso de agitación largos la TXD7 disminuyó. Por lo tanto para poder estudiar claramente el efecto del tipo de cultivo y la velocidad de agitación en la textura y la sinéreis del yogur batido, habría que eliminar el exceso de agitación.

4.1.4. Número y tamaño de grumos

Küçükçetin *et al.* (2009) estudiaron la cantidad y perímetro de grumos de yogur batido dependiendo del cultivo utilizado, la temperatura de incubación y el tiempo de almacenamiento. Concluyeron que el número y perímetro de grumos disminuye a mayores temperaturas de tratamiento térmico de la leche, utilización de cultivos productores de exopolisacáridos o al disminuir la temperatura de incubación. Küçükçetin (2008) estudió la influencia del pH fin de fermentación en el número y tamaño de grumos y concluyó que el número de grumos disminuye al aumentar el pH en el cual se rompe el coágulo. Los resultados mostrados en la tabla 2 indican que muestras elaboradas con C1 tienen menor número de grumos ($p < 0,05$) que las elaboradas con C2. El pH_{D0} medio de las producciones con C1 es significativamente menor ($p < 0,05$) que el de las producidas con C2 debido a que el tiempo de exceso de agitación es mayor en unas producciones que en otras. En la figura 14 puede observarse como el número de grumos de las producciones elaboradas con C1 es menor y más uniforme que el número de grumos de las elaboradas con C2. Se observa que con ambos cultivos el número de grumos aumentó al disminuir el pH_{D0}, y que el C2 fue más sensible a este efecto que el C1, cultivo con el que el número de grumos se mantiene prácticamente constante con la disminución de pH. Los resultados son consistentes con los estudios citados anteriormente ya que al aumentar el tiempo de exceso de agitación disminuye el pH y por tanto al número de grumos aumenta. Rasmussen *et al.* (2007) concluyeron que el aumento en la intensidad de agitación después de la incubación tiene un efecto negativo en la cantidad de grumos. No se encontraron diferencias significativas entre el número de grumos de las producciones agitadas con A1 y A2, pero la media del número de grumos de las muestras agitadas con la velocidad rápida (80 ± 27) fue mayor que las agitadas con la velocidad lenta (43 ± 26), resultados que concuerdan con el autor anteriormente citado. Puede ser que el efecto de la velocidad de agitación no haya sido significativo debido al exceso de agitación. El tiempo de exceso de agitación ha tenido más importancia en la intensidad de agitación que la velocidad enmascarando el efecto de esta última. Además también ha influido más que el pH fin de fermentación en el número de grumos.

La figura 15 muestra el efecto del exceso de agitación en el número de grumos, y puede observarse que tanto en las elaboraciones con C1 como en las de C2 el número de grumos tiende a aumentar al aumentar el tiempo de agitación. Además puede observarse que el C1 es menos sensible a este efecto que el C2, ya que en las muestras elaboradas con C1 el número de grumos aumenta muy lentamente con el exceso de agitación manteniéndose casi constante.

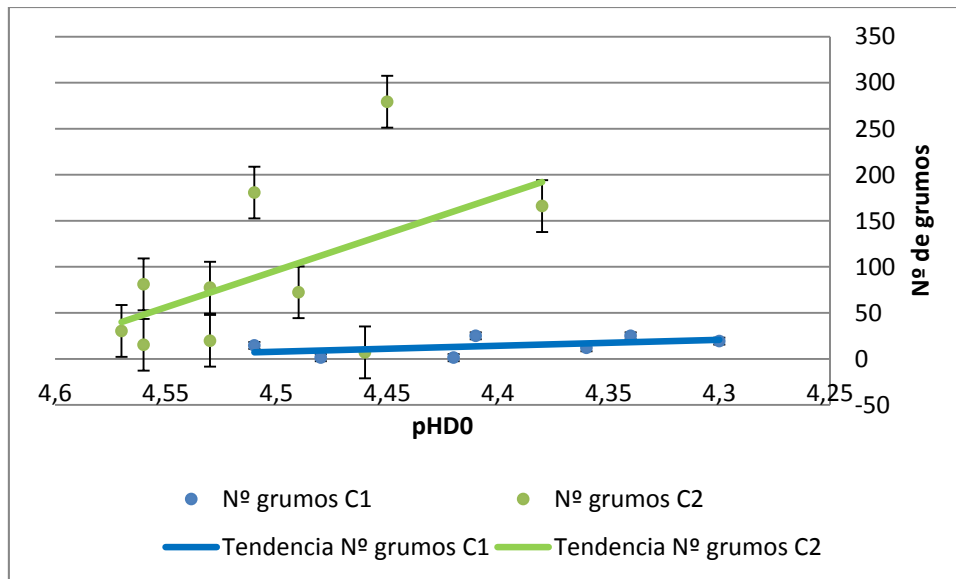


Figura 14. Nº de grumos de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al pHDO.

Küçükçetin (2007) concluyó que el número de grumos decrece con el ratio caseína/proteína de suero. La cantidad de grumos está relacionada con la cantidad de proteínas de suero desnaturalizadas en la leche de partida. Un excesivo ratio proteínas de suero/caseína provoca mayor número de grumos pero este número y el tamaño no se ven influenciados por las condiciones y el tiempo de almacenamiento. Sería interesante controlar la calidad de la leche de partida y la mezcla, cantidad y naturaleza de la proteína añadida, de cada elaboración analizar si hay diferencias en la cantidad de proteínas de suero y caseína entre ellas

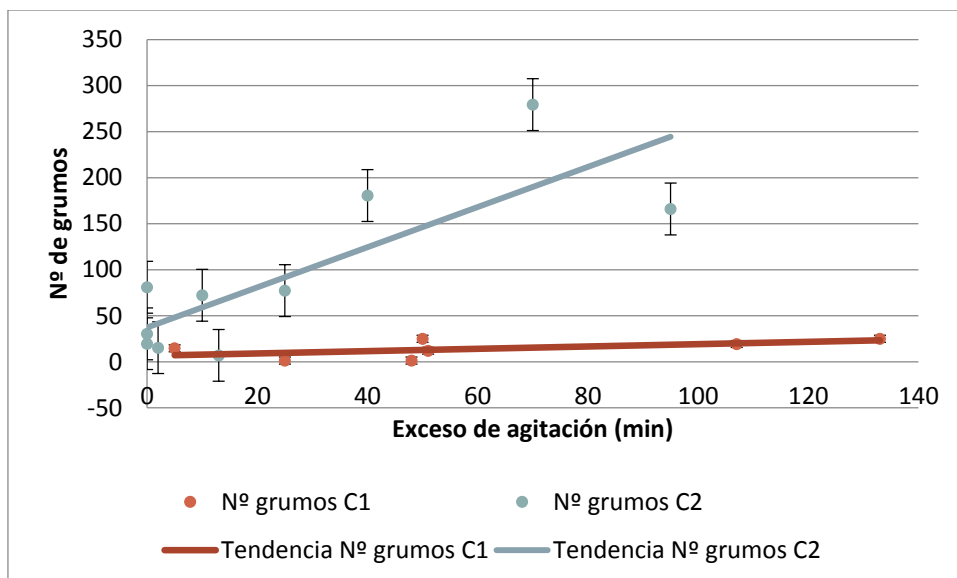


Figura 15. Nº de grumos de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al exceso de agitación.

En cuanto al tamaño de grumos no se han encontrado diferencias significativas entre las muestras elaboradas con los dos cultivos y las dos velocidades de agitación pero se han encontrado tamaño de grumos mayores en los casos en los que se ha dado mayor número de grumos igual que en los estudios anteriormente citados en los que el tamaño de los grumos tiene una relación directa con el número. Aunque la diferencia no haya sido significativa, en la figura 16 puede observarse el efecto del exceso de agitación en las muestras elaboradas con C1 y C2, observándose que, al contrario del número de grumos, se mantiene más uniforme en las muestras producidas con C2 que en las producidas con C1. A valores de exceso de agitación pequeños, el tamaño de los grumos es menor en las muestras elaboradas con C1 que con C2 aunque a valores de exceso de agitación altos estas diferencias desaparecen. Muestras elaboradas con C2 tendieron a aumentar el número de grumos a mayores tiempos de exceso de agitación y el tamaño de los mismos tuvo una tendencia a mantenerse constante. Sin embargo, en producciones elaboradas con C1 el número de grumos fue menos sensible a la diferencia de tiempos de agitación, tendiendo a mantenerse constante, y el tamaño de los mismos tendió a aumentar a mayores tiempos de exceso de agitación.

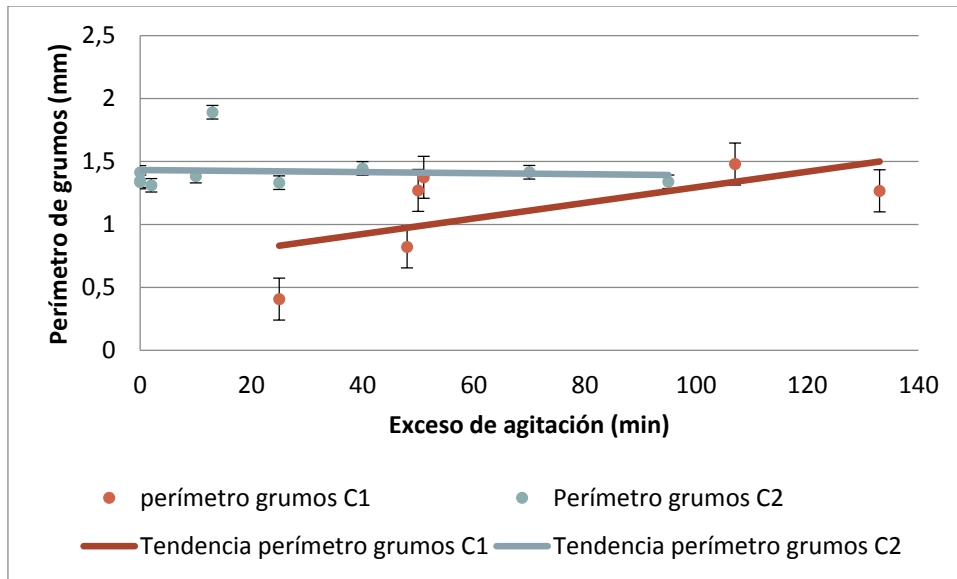


Figura 16. Perímetro de grumos de muestras elaboradas con C1 y C2 respecto al tiempo de exceso de agitación.

4.2. EFECTOS DEL PROCESADO POSTINCUBACIÓN EN LA UNIFORMIDAD DEL PRODUCTO

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos (media \pm desviación estándar) para los parámetros de proceso y de calidad de las muestras tomadas en diferentes momentos del enfriamiento.

Se han encontrado diferencias significativas ($p < 0,05$) en la TXD7 entre las muestras tomadas en diferentes momentos durante el tiempo de enfriamiento. La TXD7 de las muestras tomadas al inicio del enfriamiento fue $70,49 \pm 0,23$, a los 60 minutos de enfriamiento $67,94 \pm 0,23$ y al final del enfriamiento, cuando la pasta está en el tanque de lanzamiento esperando a ser envasada, fue $64,16 \pm 0,23$.

Tabla 3. Resultados de análisis de la varianza de parámetros de proceso y calidad del producto durante el enfriamiento y producto enfriado listo para envasar (yogur batido receta griego azúcar).

	M1	M2	M3	
Nº de muestras	17	17	17	
Caudal (l/h)	4392,71 ± 52,00 a	4079,06 ± 52,00 b	-	***
Diferencia de presión (atm)	1,75 ± 0,11 a	1,65 ± 0,11 a	-	NS
Tª de enfriamiento (°C)	26,68 ± 0,42 a	25,25 ± 0,42 b	24,18 ± 0,42 b	***
pHD0	4,52 ± 0,02 a	4,45 ± 0,02 b	4,46 ± 0,02 ab	*
pHD7	4,38 ± 0,02 a	4,36 ± 0,02 a	4,34 ± 0,02 a	NS
TXD0 (g)	21,77 ± 0,19 a	22,00 ± 0,19 a	22,11 ± 0,19 a	NS
TXD7 (g)	70,49 ± 0,23 a	67,94 ± 0,23 ab	64,16 ± 0,23 b	*
Sinéresis (%)	46,07 ± 1,14 a	46,35 ± 1,14 a	46,00 ± 1,14 a	NS
Nº grumos (nº grumos/0,3 g)	52 ± 18 a	43 ± 18 a	60 ± 18 a	NS
Tamaño grumos (mm)	1,11 ± 0,09 a	1,24 ± 0,09 a	1,31 ± 0,09 a	NS

M1, M2, M3: Muestras tomadas al inicio del enfriamiento (t=10 min), al final del enfriamiento (t=60 min), y del tanque de lanzamiento al terminar el enfriamiento y mezclarse en el tanque de lanzamiento.

pHD0, pHD7 : pH en el momento de la toma de muestras y a los 7 días de almacenamiento en refrigeración.

TXD0, TXD7 : Resistencia del gel al tomar la muestra y a los 7 días de almacenamiento en refrigeración.

Niveles de probabilidad asociados con ANOVA de dos factores.

*** P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05; NS, no significativo; ND, no determinado.

Estudiando los parámetros de proceso de la etapa de enfriamiento se encontraron diferencias significativas en la temperatura de enfriamiento al inicio y fin de enfriamiento; en el caudal del enfriamiento, que fue bajando conforme transcurre el enfriamiento, y en el pHD0 que bajó entre las muestras M1 y M2 debido a que durante el tiempo de enfriamiento la pasta está en el tanque madurador esperando a ser enfriada y el pH sigue bajando. Estas diferencias se deben a que es un proceso continuo en el cual 5000l de pasta de yogur necesitan entre 60- 90 minutos para enfriarse. Las variables de proceso a las que puede deberse esta diferencia, como se ha comentado, son el caudal de enfriamiento, la temperatura de enfriamiento, el exceso de agitación y la colmatación del filtro. Esta última está relacionada con el caudal, ya que conforme va transcurriendo el enfriamiento, el filtro se va colmatando y el caudal va disminuyendo. Tamine *et al.* (1980) analizaron que el uso de elementos mecánicos como agitadores, bombas, tuberías, filtros, enfriadores, provocan daños en la estructura del yogur batido entre el tanque de incubación y la envasadora, causa que provoca la disminución de la viscosidad. Las condiciones de proceso tienen un importante impacto en las propiedades sensoriales del yogur,

por lo tanto el control de los mismos es imprescindible a la hora de una mejora del producto (Martin *et al.*, 1999).

La figura 17 muestra cómo la consistencia y viscosidad del yogur batido mejora después del tratamiento mecánico y el enfriamiento.

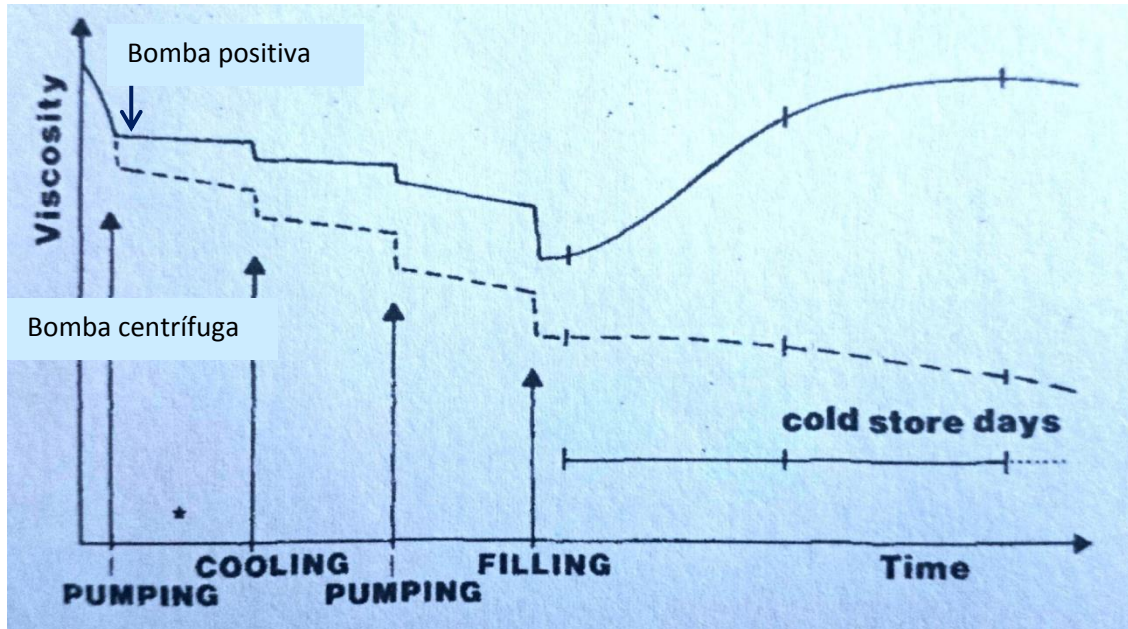


Figura 17. Curva de viscosidad del yogur batido en relación al tratamiento mecánico. Tamine *et al.* (1980).

*Antes del enfriamiento el yogur pasa por un filtro o alisador.

Las M1 dieron mayores valores de TXD7 que las M2. En cuanto al estrés mecánico que sufrieron esas muestras durante su procesado post-incubación fue igual en ambas muestras, las únicas diferencias fueron el tiempo de agitación, ya que las M1 siempre agitaron 60 minutos menos que las M2, y la colmatación del filtro, ya que al inicio del enfriamiento el filtro está limpio y el caudal es mayor, y conforme va transcurriendo el enfriamiento se colmata, el tamaño de poro disminuye y el caudal también disminuye. Estas diferencias de textura entre M1 ($70,49 \pm 0,23$) y M2 ($67,94 \pm 0,23$) no fueron significativas. Tampoco se encontraron diferencias significativas en los valores de Nº de grumos de M1 (52 ± 18) y M2 (43 ± 18). Pero en ambos casos el valor medio de M1 fue mayor que el de M2, resultados en consistencia con los de Rasmussen *et al.* (2007) que concluyeron que ha tamaños de poro menores disminuyen los valores de viscosidad y número de grumos. En cuanto a la sinéresis estos autores no encontraron relación entre el tamaño de poro del filtro y la capacidad de retención de suero del yogur batido, tampoco se encontró en el presente estudio.

Las diferencias significativas en la textura de las muestras se dieron entre la TXD7 de M1 y la de M3 y según lo anteriormente analizado, no se debieron a posibles diferencias en el estrés mecánico.

Se encontraron diferencias significativas en la temperatura de enfriamiento de las muestras. Muestras M1, que se enfriaron a temperaturas significativamente ($p < 0,001$) más altas ($26,68 \pm 0,42$) que M3 ($24,18 \pm 0,42$) dieron valores significativamente ($p < 0,05$) más altos de textura. Tamine *et al.* (1980) cuestionaron la temperatura de enfriamiento a la que debe enfriarse la pasta de yogur batido antes de enviar a envasar. Desde entonces, pocos estudios se han realizado al respecto. El objetivo del enfriamiento es reducir la actividad metabólica del cultivo con el fin de controlar la acidez del yogur. Desde el punto de vista microbiológico las bacterias *S.thermophilus* y *L.bulgaricus* tienen limitado su crecimiento a 10-15 °C aunque la temperatura de enfriamiento en la mayoría de plantas industriales de producción de yogur batido suele ser de 20-22 °C. Reicherter *et al.* (2013) concluyeron que a temperaturas más bajas de enfriamiento, las fuerzas de cohesión entre las partículas del gel son relativamente bajas, y por tanto provocan bajos valores de firmeza después del llenado y almacenamiento.

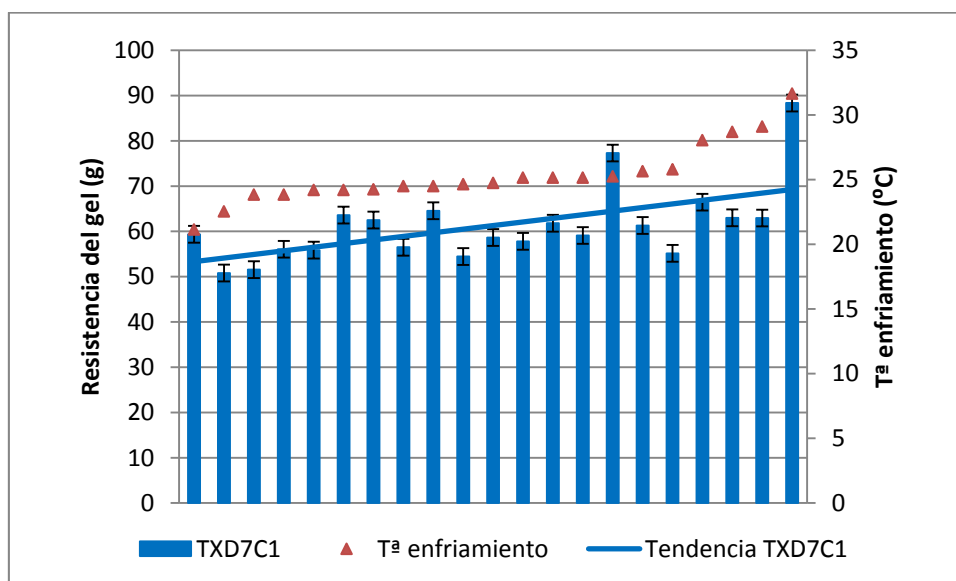


Figura 18. TXD7 de muestras elaboradas con C1 respecto a la temperatura de enfriamiento.

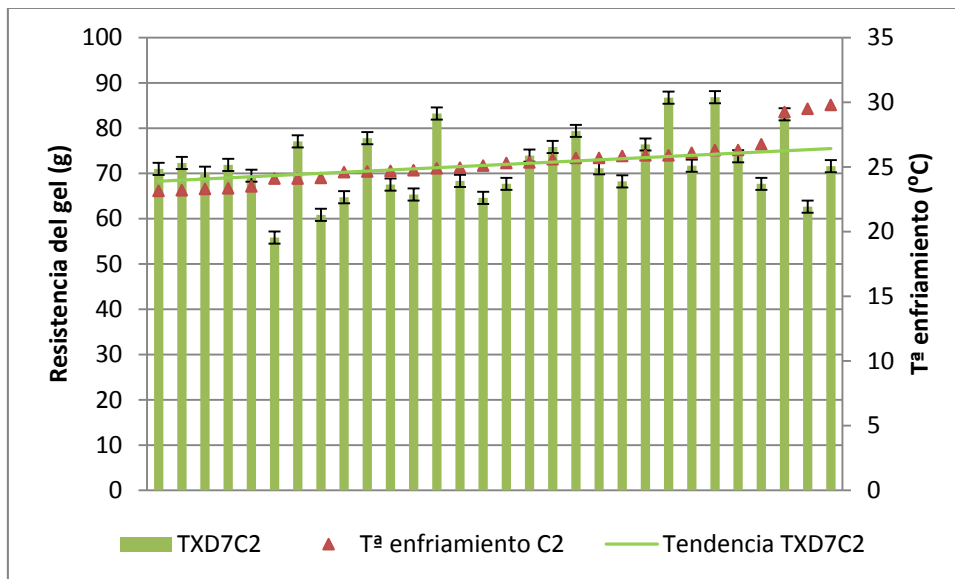


Figura 19. TXD7 de muestras elaboradas con C2 respecto a la temperatura de enfriamiento.

En la figura 18 y 19 se observan los valores de resistencia del gel de todas las muestras tomadas elaboradas tanto con C1 como con C2. Como ya se ha comentado, el valor de la resistencia del gel es mayor en las muestras elaboradas con C2 y a su vez este valor es más constante debido a que el cultivo C2 es menos sensible a los cambios en el proceso. En las muestras elaboradas con C1, se ve una mayor tendencia a aumentar el valor de TXD7 al aumentar la temperatura de enfriamiento.

Con objeto de estudiar si la temperatura de enfriamiento es causante de las diferencias encontradas en la textura de las diferentes muestras, se está realizando un nuevo estudio en el que se pretende encontrar una relación entre la temperatura de enfriamiento y la textura del producto observando siempre la velocidad de disminución de pH para controlar su acidificación.

5. CONCLUSIONES

- El cultivo Premium 2.0 (C2) es un cultivo más insensible a las variaciones en los valores de los parámetros de proceso que el cultivo Premium 1.0 (C1), por lo tanto, con el cultivo Premium 2.0 se pueden conseguir valores de calidad más homogéneos entre diferentes producciones que con el cultivo Premium 1.0.
- Los tiempos de exceso de agitación afectan a la calidad del producto ya que el producto sufre más estrés mecánico en producciones en las que se ha agitado el producto durante más tiempo. Además tiempos de incubación mayores implican mayores bajadas de pH antes del enfriamiento, hecho que también influye en las propiedades de calidad del producto.

- Con el cultivo Premium 2.0 se obtuvieron yogures con mayor resistencia y menor sinéresis pero mayor número y perímetro de grumos.
- A menores valores de pH de enfriamiento se dieron yogures con mayor firmeza y menores valores de sinéresis, efecto que fue más pronunciado con el cultivo Premium 1.0 que con el Premium 2.0.
- Las diferencias de pH en las producciones elaboradas con Premium 2.0 mostraron su efecto en el número de grumos. A valores menores de pH fin de fermentación se observaron mayor número de grumos.
- A velocidades de agitación lentas y bajos tiempos de exceso de agitación se produjeron menor número y perímetro de grumos. El efecto de la intensidad de agitación en el número de grumos fue más pronunciado en yogures elaborados con C2, mientras el efecto en el perímetro fue más pronunciado en yogures elaborados con C1.
- El efecto de la colmatación del filtro no produce diferencias en los valores de calidad estudiados pero la diferencia en la temperatura de enfriamiento al inicio y fin del enfriamiento sí.
- Sería necesario el estudio de los efectos de la temperatura de enfriamiento en la textura del yogur batido para encontrar la temperatura idónea de enfriamiento con la que, se mejore la textura sin que el producto se acidifique por debajo de los valores de especificación, pudiendo en este caso abaratar la receta manteniendo o mejorando la textura del producto.

6. BIBLIOGRAFÍA

Afonso I. M., Maia J. M. Rheological monitoring of structure evolution and development in stirred yogurt. *Journal of Food Engineering* 1999, 42. 183-190.

Ares G.; Paroli C.; Harte F. Measurement of firmness of stirred yogurt in routine quality control. *Journal of Food Quality*, 2006, 29, 628-642.

Atamian S.; Olabi A.; Kebbe O.; Baghdadi O.K.; Toufeili B. The characterization of the physicochemical and sensory properties of full-fat, reduced-fat and low-fat bovine, caprine, and ovine Greek yogurt (Labneh). *Food Science & Nutrition*, 2014, 2 (2), 164–173.

Beal C.; Skokanova J.; Latrille E.; Martin N.; Corrieu G. Combined effects of culture conditions and storage time on acidification and viscosity of stirred yogurt. *Journal of Dairy Science*, 1999, 82 (4), 673-681.

Benezech T.; Maingonnat J.F. Characterization of the Rheological Properties of Yoghurt-A Review. *Journal of Food Engineering*, 1994, 21, 447-472.

Bong D. D.; Moraru C. I. Use of micellar casein concentrate for Greek-style yogurt manufacturing: Effects on processing and product properties. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97(3), 1259-1269.

Cayot P.; Schenker F.; Houzé G.; Sulmont-Rossé C.; Colas B. Creaminess in relation to consistency and particle size in stirred fat-free yogurt. *International Dairy Journal*, 2008, 18, 303–311.

Carson K.; Meullenet J. F. C.; Reische D. W. Spectral stress strain analysis and partial least squares regression to predict sensory texture of yogurt using a compression/penetration instrumental method. *Journal of Food Science*, 2002, 67 (3), 1224-1228.

Chanasattru W., Corradini M.G., Peleg M. Determination of practically significant differences in the sensorily perceived consistency of semiliquid foods. *Journal of Texture Studies*, 2002, 33, 445-460.

Damin M. R.; Alcántara M. R.; Nunes A. P.; Oliveira M. N. Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *Food Science and Technology*, 2009, 42, 1744–1750.

De Brabandere A. G.; De Baerdemaeker J. G. Effects of process conditions on the pH development during yogurt fermentation. *Journal of Food Engineering*, 1999, 41, 221-227.

Engelen L., Van Der Bilt A., Schipper M., Bosman F. Oral size perception of particles: Effect of size, type, viscosity and method. *Journal of Texture Studies*, 2005, 36, 373–386.

Frøst M. B.; Janhøj T. Understanding creaminess. *International Dairy Journal*, 2007, 17, 1298–1311.

Haque A.; Richardson R. K.; Morris E. R. Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt. *Food hydrocolloids*, 2001, 15, 593-602.

Hellinga C.; Somsen D. J.; Koendraads J. P. J. M. Viscosity of stirred yoghurt: modern techniques useful in analysing and improving routine measurements. *Neth. Milk dairy Journal*, 1986, 40, 217-240.

Hess S.J., Roberts R. F., Ziegler G.R. Rheological properties of nonfat yogurt stabilized using *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* producing exopolysaccharide or using commercial stabilizer systems. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80 (2), 252-263.

Karsheva M.; Paskov V.; Tropcheva R.; Georgieva R.; Danova S. Physicochemical parameters and rheological properties of yoghurts during the storage. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2013, 48 (5), 483-488.

Küçükçetin A. Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 2008, 61 (4), 385-390.

Küçükçetin A. Effect of heat treatment and casein to whey protein ratio of skim milk on graininess and roughness of stirred yoghurt. *Food Research International*, 2008, 41, 165-171.

Küçükçetin A.; Weidendorfer K.; Hinrichs J. Graininess and roughness of stirred yoghurt as influenced by processing. *International Dairy Journal*, 2009, 19, 50–55.

Küçükçetin A.; Demir M.; Asci A.; Çomak E. M. Graininess and roughness of stirred yoghurt made with goat's, cow's or a mixture of goat's and cow's milk. *Small Ruminant Research*, 2011, 96, 173–177.

Krasaekoopt W., Bhandari B., Deeth H. Comparison of texture of yogurt made from conventionally treated milk and UHT milk fortified with Low-heat skim milk powder. *Journal of Food Science*, 2004, 69 (6), 276-280.

Lee W.J.; Lucey J.A. Impact of Gelation Conditions and Structural Breakdown on the Physical and Sensory Properties of Stirred Yogurts. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89 (7), 2374-2385.

Lobato-Calleros C.; Ramírez-Santiago C.; Vernon-Carter E. J.; Alvarez-Ramirez J. Impact of native and chemically modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt. *Journal of Food Engineering*, 2014, 131, 110–115.

Lucey J. A.; Singh H. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, 1998, 30 (7), 529-542.

Martin N. C.; Skokanova J.; Latrille .; Beal C.; Corrieuz G. Influence of fermentation and storage conditions on the sensory properties of plain low fat stirred yogurts. *Journal of Sensory Studies*, 1999, 14, 139-160.

Mortazavian A. M.; Rezaei K.; Sohrabvandi S. Application of Advanced Instrumental Methods for Yogurt Analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2009, 49, 153–163.

Pauletti M. S.; Rozycki S.; Sabbag N.; Costa S. Modelización de la consistencia de yogur batido: Efecto de la adición de varios gelificantes. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 2003, 4 (2), 90-94.

Reicherter R.; Maisch R.; Hinrichs J. Intermediate storage of stirred yoghurt prior to filling. *Die Milchwirtschaft*. 2013, 4 (7), 228-230.

Rasmussen M. A.; Janhoj Th.; Ipsen R. Effect of fat, protein and shear on graininess, viscosity and syneresis in low-fat stirred yoghurt. *Milchwissenschaft*, 2007, 62 (1), 54-48.

Remeuf F.; Mohammed S.; Sodini I.; Tissier J. P. Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. *International Dairy Journal*, 2003, 13, 773–782.

Renan M.; Guyomarc'h F.; Arnoult-Delest V.; Paquet D.; Brulé G.; Famelart M-H. Rheological properties of stirred yoghurt as affected by gel pH on stirring, storage temperature and pH changes after stirring. *International Dairy Journal*, 2009, 19, 142–148.

Rönnegård E.; Dejmek P. Development and breakdown of structure in yoghurt studied by oscillatory rheological measurements. *Lait*, 1993, 73, 371-379.

Sodini I.; Remeuf F.; Hadda S.; Corrieuz G. The Relative Effect of Milk Base, starter, and process on yogurt texture: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2004, 44, 113–137.

Tamime A. Y., Deeth H. C. Yogurt: Technology and Biochemistry. *Journal of Food Protection*. 1980, 43 (12), 939-977.

Tetra Pack. *Manual de industrias lácteas*. Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones, 2003.

Weidendorfer K.; Bienias A.; Hinrichs J. Investigation of the effects of mechanical post-processing with a colloid mill on the texture properties of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 2008, 61 (4), 379–384.