



# **INFLUENCIA DE LA HOMOGENEIZACIÓN, EL CONTENIDO EN PROTEÍNAS Y EL FERMENTO EN LA CALIDAD DEL YOGUR DE VACA AZUCARADO BATIDO**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Curso: 2015/2016**

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos.  
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Palencia. Universidad de Valladolid.**

**Alumno: Lucía Romero Sánchez  
Tutor Universidad: Daniel Sancho Rincón**

**Tutor empresa: Dra. Carmen Asensio Vegas y Dr. David  
Delgado Fuentes.**

**Lugar de realización: Estación Tecnológica de la Leche**

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo ha sido estudiar la influencia de la homogeneización, del contenido en proteínas y del fermento, en la calidad del yogur batido azucarado de vaca. Para realizar este estudio se han realizado dos ensayos diferentes, en el primero únicamente se modificó el contenido en proteínas mediante el empleo de leche en polvo, mientras que en el segundo se modificaron las condiciones de homogeneización, el contenido en proteínas y el tipo de fermento empleado. Se han llevado a cabo análisis del perfil de acidificación, microbiológicos, fisicoquímicos, físicos y se ha completado con un análisis sensorial. Con los resultados obtenidos se ha concluido que la homogeneización y al aumento del contenido en proteínas aumentan los parámetros de textura, el grado de tixotropía y el comportamiento elástico, aunque la homogeneización disminuye la viscosidad mientras que el contenido en proteínas lo aumenta. El fermento seleccionado, el YF-903, ha aportado mayores valores de textura que el otro fermento ensayado, el Advance. Sin embargo, el fermento Advance proporciona mayores valores de viscosidad. La prueba sensorial de preferencia mostró que no había diferencias significativas entre los yogures estudiados.

## **ABSTRACT**

The aim of the present work has been to study the influence of the homogenization, the protein and ferment content, on the quality of the of the sugared cow yogurt shake. To carry out this study, it has been also necessary to have two different tests. In the first one, the protein content has been altered by the use of powdered milk. In the second one, the conditions of homogenization, the protein content and the type of ferment has been altered. In addition, several tests of acidification profile, microbiological, physicochemical and physical trials were carried out. In accordance with the results obtained, I can conclude that the homogenization and the increasing of the protein content results in the improve on the levels of texture, thixotropic effect and elastic behavior. Although, the homogenization reduce the viscosity in spite of the higher protein content. The selected ferment, the YF-903, has contributed highest values of firmness, consistency, tackiness, stickiness and thixotropic effect than the other studied ferment, the Advance one. However, the Advance ferment provide more viscosity number. A sensory test of the sugared yogurt shake does not provides information about significant diferents between both of them.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
3.1 Materiales y reactivos .....	5
3.2 Método de elaboración .....	6
3.3 Métodos de análisis del yogur .....	7
3.3.1 Perfil de acidificación .....	7
3.3.2 Análisis microbiológico .....	7
3.3.3 Análisis físicoquímicos.....	7
3.3.4 Análisis físicos .....	9
3.3.5 Análisis sensorial.....	11
3.3.6 Análisis estadístico .....	12
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
4.1 Resultados y discusión del primer ensayo.....	12
4.1.1 Perfil de acidificación .....	13
4.1.2 Análisis microbiológico .....	13
4.1.3 Análisis físicoquímicos.....	14
4.1.4 Análisis físicos .....	15
4.1.5 Análisis sensorial.....	18
4.2 Resultados y discusión segundo ensayo .....	19
4.2.1 Perfil de acidificación .....	19
4.2.2 Análisis microbiológico .....	20
4.2.3 Análisis físicoquímico .....	20
4.2.4 Análisis físicos .....	21
4.2.5 Análisis sensorial.....	25
5 CONCLUSIONES.....	25
6. AGRADECIMIENTOS.....	26
7. BIBLIOGRAFÍA.....	27
ANEXO I.....	31
ANEXO II.....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de productos lácteos en España presenta una estructura diferente a la del resto de países de la Unión Europea debido a que existe un consumo muy superior de leche de consumo, especialmente de larga duración, así como un consumo más alto de yogures, y por otro lado un consumo muy inferior de quesos y mantequilla. (MAGRAMA, 2016).

La producción industrial de lácteos de vacuno en España se caracteriza por la importancia de la leche líquida, que aporta el 80,3% de la producción final en volumen equivalente, mientras que en la Unión Europea la producción de leche líquida es mucho más baja correspondiéndose con un 16%. Le siguen en importancia los yogures y otros productos frescos con el 12,2%; en el caso de la Unión Europea, estos productos representan un 3,5%. En España cabe destacar las escasas producciones de mantequilla (0,7%) y de quesos (2,6%), frente a un 23,2 % y 32,4% que se produce en la Unión Europea. (MAPA, 2003).

En los últimos años se observa en España una tendencia descendente en el consumo de leche y productos lácteos, además se observa una marcada estacionalidad en el consumo de lácteos con un descenso más marcado en los meses de verano. (MAGRAMA, 2016)

Actualmente Europa cuenta con más de 44 millones de consumidores musulmanes, siendo España uno de los destinos europeos más deseados por el turismo Halal provenientes de países musulmanes de Asia y Oriente Medio. Se estima que se podrían llegar a recibir unos 20 millones de turistas Halal. Hoy en día el mercado Halal se ha convertido en una oportunidad para las empresas españolas.

El mercado musulmán en España está a la espera de ofertas de productos especiales, sobre todo en el ámbito alimentario. Este mercado tiene posibilidades casi infinitas dado que aún no se encuentra masificado. Hecho comprobado por algunas empresas que se han decidido a elaborar alimentos permitidos por el Islam y extendidos por él.

Los mandatos del Corán exigen unas normas sobre la calidad y procedencia de la comida, esta debe ser Halal, y deben presentar la certificación de garantía Halal.

En relación con los productos lácteos, el Reglamento de uso de la marca garantía Halal de la junta islámica los considera alimentos Halal. La certificación de garantía Halal es un proceso que comprende la realización de auditorías en las

empresas objeto de certificación, mediante la evaluación de los sistemas de calidad y de producción de las empresas.

Dentro del sector lácteo, en la Comunidad Musulmana gustan mucho los yogures azucarados y viscosos o leche fermentada de vaca.

Según el Real Decreto 271/2014, del 11 de abril, por el que se aprueba la Norma de Calidad para el yogur o yoghurt, el yogur es el producto de leche coagulada obtenido por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus delbruecki* subsp *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* a partir de leche o leche concentrada, desnatadas o no, o de nata, o de mezcla de dos o más de dichos productos, con o sin la adición de otros ingredientes lácteos, que previamente hayan sufrido un tratamiento térmico u otro tipo de tratamiento, equivalente, al menos a la pasteurización. El yogur natural azucarado es definido como el yogur natural al que se han añadido azúcar o azúcares comestibles.

Existen distintos tipos de yogur pero los más importantes son los yogures firmes o consistentes y los yogures batidos. El yogur firme es aquel cuya fermentación tiene lugar en el propio envase. Mientras que el yogur batido es aquel cuya fermentación se realiza en una cuba o tanque de fermentación antes del batido y envasado del producto. (Varnam et al, 1995)

El factor clave para la transformación de leche en yogur es la aglomeración de las micelas de caseína en una estructura de red tridimensional. (Fox y McSweeney, 1998).

Prácticamente toda la caseína de la leche (95%) se encuentra en forma de micelas. Las micelas de caseína presentan un contenido proteico de un 96%, mientras que el 6% restante está formado por calcio y fósforo principalmente. (Varnam et al, 1995)

El calcio y el fósforo se encuentran en fase coloidal en la leche formando parte de las micelas como otros minerales, a este conjunto se le denomina fosfato cálcico coloidal, este conjunto es el responsable de mantener unidas unas submicelas con otras formando las micelas. (Odoñez, 2000).

En la leche existe un equilibrio entre el fosfato cálcico que forma parte de las micelas y el fosfato cálcico soluble. Una porción de k-caseína cargada negativamente sobresale de cada micela, lo que provoca una acumulación de cargas negativas que

hace que las micelas se estabilicen mediante fuerzas de repulsión, debido a que las fuerzas de atracción son muy débiles. (Ordoñez, 2000).

Durante el proceso de fermentación, etapa en la que tiene lugar la formación del gel, se añaden los fermentos lácticos. Estos microorganismos del yogur son los responsables de metabolizar la lactosa presente en la leche para poder cubrir sus necesidades energéticas, produciendo ácido láctico y otros compuestos.

A medida que se va produciendo ácido láctico tiene lugar un descenso del pH, cuando el pH se aproxima al punto isoeléctrico de las caseínas, la carga neta de la superficie micelar disminuye, desaparece la repulsión electrostática por la que se estabilizan las micelas de caseína. Esto provoca la solubilización del fosfato cálcico coloidal y que se produzca una migración desde la micela hasta la fase soluble provocando la desestabilización de las micelas de caseína. Estas se aproximan y coalescen dando lugar a la formación de un gel. (Romero et al, 2004).

Uno de los atributos de mayor importancia en el yogur es la textura, que suele percibirse en términos de viscosidad, esta medición es de suma importancia sobre todo en alimentos que deben presentar una cierta consistencia en relación con su aspecto o sensación en boca. (Lewis, 1993).

Las propiedades de textura y estabilidad física del yogur se pueden mejorar mediante el aumento del contenido de sólidos de la leche. Los 3 sistemas principales empleados hoy en día para lograr la proteína y el contenido en sólidos necesarios son: adición de proteínas en polvo (leche desnatada, proteína de suero concentrada, caseinatos), la evaporación del agua de la leche al vacío y eliminación de agua por filtración de membrana. (Damin et al, 2009).

La fortificación de la proteína es uno de los parámetros más importantes que afectan a la textura del yogur.

Según Prentice (1992) el aumento de los niveles de proteína es el principal factor que influye en la textura, y la fortificación de leche mediante el empleo de leche en polvo da como resultado un desarrollo de cadenas y una mayor agregación de las micelas de caseína.

Parte del agua del gel del yogur se encuentra unida a las proteínas, ya que la hidratación de las proteínas dependen de varios factores, por lo que es difícil determinar la proporción del agua unida a las proteínas en el yogur. Por tanto, al

aumentar el contenido proteico de la leche destinada a la elaboración de yogur se va a producir un aumento del agua ligada a las proteínas lo que implica una mayor firmeza y consistencia del coagulo. (Romero et al, 2004).

En la actualidad las expectativas y los deseos de los consumidores se están dirigiendo hacia productos que contienen menos aditivos, centrándose el estudio en la producción de los exopolisacáridos producidos por las bacterias lácticas para mejorar las propiedades del yogur , sin necesidad de añadir aditivos (Buldo et al , 2016).

Los exopolisacáridos producidos por las bacterias ácido lácticas pueden estar compuestos por cadenas lineales largas o pueden presentar una estructura formada por cadenas laterales más complejas. El tipo de exopolisacárido incluye la composición del monómero, el peso molecular, la ramificación, el tipo de ligamiento y la carga que se consideran específicos para la cepa productora. (Buldo et al, 2016).

Se conocen cultivos productores de exopolisacáridos para aumentar la viscosidad, suavidad y reducir la sinéresis.

El efecto sobre los parámetros reológicos del yogur depende en gran medida del tipo de exopolisacáridos y de las posibles interacciones de estos con las proteínas de la leche. Existen interacciones entre las proteínas de la leche y los exopolisacáridos para mejorar la firmeza y la viscosidad de las leches fermentadas, y reducir la sinéresis y la granularidad. (Buldo et al, 2016).

Los cambios sensoriales en el yogur asociados con exopolisacáridos se aprecian en un cuerpo más firme, mayor cremosidad y una superficie brillante. Estas son causadas por cambios en la sinéresis y la viscosidad de las leches fermentadas, que a su vez están relacionadas con exopolisacáridos, propiedades del agua e interacciones con la red de proteínas. (Buldo et al, 2016).

Otro de los factores que presenta gran importancia en las propiedades reológicas del yogur es la fase de homogeneización de la leche.

La grasa de la leche está presente en forma de glóbulos que varían su tamaño desde 1µm hasta más de 10 µm. Los glóbulos de grasa más grandes tienden a subir y crear una capa de crema, para prevenir esta separación de la grasa se realiza la etapa de homogeneización (Fuquay et al, 2011).

La homogeneización de la leche mejora la textura, disminuye la tendencia a la sinéresis y posiblemente reduce la formación de nódulos. Las altas presiones de

homogenización aumentan la viscosidad pero también la tendencia a la sinéresis, y por tanto es necesario definir una presión óptima de homogeneización para cada tipo de yogur. En general las presiones más utilizadas son de 15 a 20 MPa a una temperatura de unos 65 °C y normalmente en una o dos fases (Varnan et al, 1995).

La homogeneización va a reducir el número y el tamaño de los glóbulos grasos, lo que produce cambios en el gel que se va a formar después. En primer lugar se produce la incorporación mecánica de los pequeños glóbulos grasos dentro de la estructura del coágulo. La incorporación de la caseína en la superficie de los nuevos glóbulos grasos provoca que actúen como grandes partículas de caseína, lo que implica que la concentración efectiva de superficie de caseína se ve incrementada contribuyendo a la formación de un gel más consistente. (Romero et al, 2004).

La adsorción de los pequeños glóbulos grasos sobre las micelas de caseína aumenta la viscosidad y el volumen total efectivo de la materia suspendida. En segundo lugar la sinéresis disminuye debido al aumento del carácter hidrofílico de las micelas de caseína, resultado de las interacciones proteína-proteína y caseína-membrana del glóbulo graso. (Romero et al, 2004).

## **2. OBJETIVO**

El objetivo del presente trabajo es estudiar la influencia de la homogeneización, el contenido en proteínas, y el fermento en la calidad del yogur de vaca azucarado batido elaborado para la comunidad marroquí, centrándose en conseguir un aumento de la viscosidad, que es el criterio demandado por la empresa para la que se realiza el estudio.

Para la realización del estudio se llevaron a cabo dos ensayos. En el primer ensayo se emplearon varias concentraciones de leche en polvo en los yogures, y se evaluó su efecto sobre la calidad del yogur, con el objetivo de elegir una concentración para el segundo ensayo. En el segundo se elaboraron yogures con distintas condiciones de homogeneización, distinto tipo de fermento y distinto contenido en proteínas, y se evaluaron los efectos de estos parámetros sobre la calidad del yogur.

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Materiales y reactivos**

Para la elaboración de los yogures se ha empleado leche de vaca procedente de la Escuela de Capacitación Agraria Viñalta (Palencia), las diferencias entre las distintas muestras de leche son los tratamientos que han recibido, homogeneización, adición de leche en polvo o empleo de distinto fermento.

### 3.2 Método de elaboración

Con el objetivo de estudiar la influencia de la homogeneización, del contenido en proteínas y del tipo de fermento utilizado en el yogur de vaca azucarado batido, se realizaron dos ensayos diferentes, en los que se elaboraron los yogures siguiendo el siguiente método.

En primer lugar se recogió leche de vaca entera procedente de la escuela Viñalta (Palencia), esta fue calentada en un tanque de pasteurización (Perinox, España) a una temperatura de 61-64°C, y después fue homogeneizada con un homogeneizador modelo NS 1001L-Panda, (Niro Soavi, Italia) a una presión de 28 MPa.

Después de homogeneizar la leche, se añadió un 8% de azúcar y la concentración correspondiente de leche en polvo para alcanzar el porcentaje de proteínas prefijado. La pasteurización de la leche se realizó a una temperatura de 80°C durante 30 minutos.

Para conseguir la fermentación se utilizaron dos fermentos comerciales, el YF-903 y Yoflex Advance 2.0, (Christian-Hansen, Dinamarca), estos fermentos se caracterizan por aumentar la viscosidad y estar formados exclusivamente por una mezcla de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*.

Los fermentos se prepararon para conseguir una actividad de 50 U/250 ml, para ello fueron diluidos en un litro de leche pasteurizada a una temperatura de 80°C durante 30 minutos, se añadieron 12 ml del fermento reconstituido a una temperatura de 42-43°C, a cubas de 3,1 Kg de leche. Este proceso se controló mediante monitorización del pH, con un pH-metro continuo, hasta que se alcanzó un pH de 4,6, para cada uno de los lotes de yogur que se elaboraron.

Cuando los yogures alcanzaron un pH de 4,6, se realizó un batido manual en la cuba con un agitador manual a razón de 25 golpes verticales con dos barridos de fondo en cabina de flujo laminar para evitar contaminaciones. Después del batido, el yogur fue envasado en una cabina de flujo laminar, en envases de plástico de 125 ml de forma manual. Por último los yogures se almacenaron a 4°C hasta su análisis.

### **3.3 Métodos de análisis del yogur**

#### **3.3.1 Perfil de acidificación**

Durante el proceso de fermentación se midió la temperatura y el pH del yogur en la cuba con un pH-metro GL22, (Crison, España), monitorizándose cada dos minutos.

#### **3.3.2 Análisis microbiológico**

El análisis microbiológico se realizó por triplicado siguiendo el procedimiento normalizado en la Estación Tecnológica de la Leche (ETL), basado en las normas UNE-EN ISO 7218:2008 e ISO 7889:2003. Se pesaron 10 gramos de 3 muestras de ensayo de cada lote. Estos 10 gramos de yogur fueron diluidos en agua de peptona estéril (0,1%). Se tomó 1ml de la solución madre y se llevó a placas Petri por duplicado ( $10^{-1}$ ) realizando una serie de diluciones decimales hasta la dilución  $10^{-8}$ .

Una serie de diluciones decimales de la muestra se sembraron en medio MRS acidificado (Difco, España) seguido de una incubación en anaerobiosis durante 72 horas a 37 °C para realizar el recuento de *Lactobacillus bulgaricus*.

Otra serie de diluciones se sembraron en medio M17 (Oxoid Microbiology Products, England), seguido de una incubación en aerobiosis durante 48 horas a 37 °C, para realizar el recuento de *Streptococcus thermophilus*.

#### **3.3.3 Análisis fisicoquímicos**

El laboratorio de la ETL posee procedimientos normalizado de trabajo, en los que se definen el procedimiento de todas las técnicas analíticas realizadas en el laboratorio. Se determinó el pH, el contenido en grasa, en proteínas, en azúcares, en lactosa, en sacarosa, en cloruro y en calcio. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

##### **❖ Determinación de pH**

El pH se determinó por el método potenciométrico siguiendo el procedimiento normalizado de trabajo de la ETL, que está basado en las normas ISO 2917-2010 y la metodología MFHP-03 (2013) empleando un pH-metro, modelo GLP22, (Crison GLP22, España).

##### **❖ Determinación de grasa**

La determinación de la grasa se realizó mediante el método gravimétrico siguiendo el procedimiento normalizado de la ETL que coge como referencia la ISO 1735:2004 y el método Schmind–Bondzynski–Ratzlaff (SBR). Se realizó una digestión con ácido clorhídrico, y posteriormente una extracción de la grasa de una solución de

ácido clorhídrico 25% p/p y etanol, con la ayuda de éter dietílico y éter de petróleo seguido de una evaporación de disolventes y posterior pesada del residuo.

#### ❖ **Determinación de proteína**

Para la determinación de la proteína se siguió el procedimiento normalizado de trabajo basado en la norma ISO 8968:2004. Se determinó el nitrógeno total de la muestra mediante el método Kjeldahl, utilizándose un digestor de proteínas (Büchi Digestor Unit Labortechnik, mod K-425, Suiza) con equipo lavador de gases (Büchi Digestor Unit Labortechnik, mod K-425, Suiza) y un destilador por arrastre de vapor (Büchi Distillation Unit Labortechnik, mod. K-350, Suiza). La valoración final se realizó con ácido clorhídrico 0,1 N con una bureta automática de 25 mL de capacidad, graduada a intervalos de 0,01 mL, calibrada y verificada.

#### ❖ **Determinación de lactosa**

La determinación de lactosa se llevó a cabo por HPLC y detección refractométrica siguiendo el procedimiento de trabajo basado en la norma ISO 22662:2007. El método consiste en la adición de un reactivo (solución de Biggs-Szijarto) para conseguir la precipitación de la grasa y la proteína. La muestra se filtró y a continuación se realizó la separación cromatográfica de la lactosa, y posterior detección por diferencia del índice de refracción. La cuantificación se realizó mediante la comparación de áreas de los picos patrones y muestras.

#### ❖ **Determinación del contenido en cloruro**

Para determinar el contenido de cloruro de sodio se utilizó el método potenciométrico descrito en el procedimiento de trabajo basado en la ISO 5943:2006 y en la ISO 1738:2004. El método consiste en suspender una muestra de yogur en agua. A continuación se añade ácido nítrico 4 molar y se procede a valorar con nitrato de plata 0,1 N, mediante un titrador automático con electrodo de anillo de plata hasta que se alcanza el punto de equivalencia. Conociendo el volumen gastado de nitrato de plata se puede determinar mediante una fórmula el contenido en cloruro de sodio.

#### ❖ **Determinación de Calcio**

Para realizar la determinación de calcio se empleó un Cromatógrafo iónico 882 Compact IC Plus (Methrom) con detector de conductividad, previamente calibrado en el rango adecuado para todos los iones a analizar. Como eluyente se utilizó ácido dipicolínico 0.7 mmol/L / ácido nítrico 1.7 mmol/L, y se utilizó una columna Metrosep C4 150, 150/4.0 mm. El volumen de inyección fue 20 µL, el flujo de 0.9 mL/min y el tiempo de análisis, 28 minutos.

Los picos obtenidos con el cromatograma se identifican por sus tiempos de retención y se cuantifican por comparación de las áreas con las de la recta de calibración.

### **3.3.4 Análisis físicos**

La realización de las pruebas físicas (color, textura y reología) se realizaron por triplicado y atemperando los yogures a una temperatura comprendida entre 8-10 °C en una cámara frigorífica.

#### **❖ Color**

El color necesita de tres atributos sensoriales para su total especificación, ya que se trata de una propiedad tridimensional. Los sistemas de especificación del color establecidos por la CIE utilizan tres coordenadas para determinar un color dado.

Las coordenadas a determinar en los yogures son  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ . La coordenada  $L^*$  informa directamente de la luminosidad y las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  de la cromaticidad, que está relacionada con la saturación y el tono. (Alvarado, 2001). Cuanto más positivo es el valor de  $a^*$ , más tiende al color rojo, cuando es más negativo más tiende al color verde. Cuanto mayor es  $b^*$ , más tiende al color amarillo y cuanto menor es tiende al color azul.

La determinación de los componentes del espacio de color CIELAB:  $L^*$  (Luminosidad),  $a^*$  y  $b^*$  (cromaticidad) se realizó mediante un colorímetro CR-410 HS, (Konika Minolta, España). Las condiciones de medición fueron observador 10°, iluminante D65, los datos fueron recuperados mediante el software Spectra Magic NX (España).

#### **❖ Textura**

Para la determinación de los parámetros texturales del yogur batido se realizó un análisis de perfil de textura de una comprensión, ensayo denominado back extrusión mediante el texturómetro TA-XT2 (Stable Micro Systems, England) con una sonda cilíndrica (P/25 A) de 25 mm de diámetro. Las condiciones de ensayo fueron 1 mm/s de velocidad con una distancia de avance de 15 mm.

Los yogures fueron analizados en envases de 125 ml atemperados previamente en cámara frigorífica a una temperatura comprendida entre 8-9 °C.

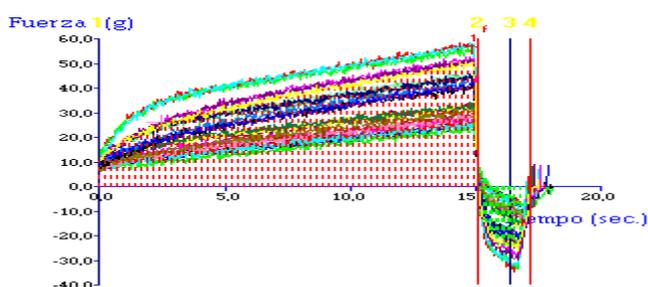
El test de back extrusión es empleado para el análisis de textura de productos semisólidos como el yogur, que consiste en realizar una única comprensión, a partir de la cual se obtienen las curvas de fuerza en función del tiempo (se observa en la Figura

1). Las curvas fuerza–tiempo se analizaron mediante el software Texture Expert versión 1.22 para Windows 95. (Stable Mycro Systems Ltd, England).

A partir de las curvas fuerza-tiempo se determinaron algunos parámetros texturales. Cuando la sonda toca la superficie de la muestra la penetra hasta una profundidad de 15 mm, en este punto más conocido como fuerza máxima, la sonda retorna a su posición habitual. El pico o fuerza máxima es una medida de la firmeza, de modo que cuanto mayor es el valor, más firme es el yogur. El área debajo de la curva positiva es la medida de la consistencia.

La región negativa del gráfico producida cuando la sonda vuelve al inicio, es el resultado del peso de la muestra que se adhiere a la sonda en el retorno, y es indicador de la adhesividad. La máxima fuerza negativa es un indicador de la pegajosidad de la muestra. Cuanto más negativo es el valor, más pegajosa es la muestra. (Alvarado, 2001).

**Figura 1: Análisis de textura de los 8 yogures**



#### ❖ Reología

Para estudiar el comportamiento reológico y las propiedades reológicas de los yogures se utilizó el reómetro Paar Physica MCR (Anton Paar GmbH, Alemania), mediante un sistema de cilindros coaxiales CC27 acoplado a un sistema Peltier para cilindros C-PTD200. Los datos fueron analizados con el programa Rheoplus (Anton Paar GmbH, Austria) instalado en el ordenador conectado al reómetro.

Las muestras de yogur fueron introducidas en un cilindro previamente atemperadas a una temperatura de 10°C en una cámara frigorífica. En primer lugar, se realizó un ensayo oscilatorio con un barrido de frecuencia entre 0,01 y 10 Hz a deformación constante de 1% (Figura 2). Este ensayo consiste en someter al yogur a un esfuerzo o deformación sinusoidal. A partir de este ensayo se determinan las propiedades elásticas y viscosas del yogur. Se determina el módulo elástico y viscoso.



tres cifras y con la misma presentación, de forma que los jueces no pudieran sacar conclusiones sobre las muestras a partir de la presentación. Cada juez ordenó la muestra en función de los criterios descriptivos y de la preferencia hedónica.

Para el segundo ensayo se realizó una prueba de ordenación de preferencia hedónica. En la prueba sensorial participaron 13 jueces entrenados. A cada juez se le entregaron 8 muestras de yogur, una de cada lote. Las muestras fueron entregadas en recipientes iguales y codificadas con números de tres cifras. Los jueces ordenaron las muestras según la preferencia de menor a mayor.

### 3.3.6 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos del primer ensayo, microbiológicos, fisicoquímicos, físicos y sensoriales se realizó un análisis de varianza de un factor para comprobar si había diferencias significativas entre los distintos tratamientos. Se realizó el test de Tukey para comprobar entre qué tratamientos existían diferencias significativas.

Con los datos obtenidos en el segundo ensayo microbiológico, fisicoquímico, físico y sensorial se realizó un análisis de varianza multivariante para evaluar el efecto de los tres factores estudiados (homogeneización, fermento y contenido en proteínas) sobre la calidad del yogur. Después se realizó la prueba de Tukey para establecer entre que tratamiento existían diferencias significativas. Los datos fueron tratados mediante el programa estadístico SPSS (IBM, USA).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados y discusión del primer ensayo

Para llevar a cabo el primer ensayo se elaboraron 4 lotes de yogur de vaca azucarado batido empleando en cada lote distintas concentraciones de leche en polvo, pero manteniendo las condiciones de homogeneización (28MPa) y el mismo fermento (YF-903), con el objetivo de observar cómo influye el contenido en proteína en los parámetros de calidad del yogur, y de seleccionar dos concentraciones de proteína para el segundo ensayo.

**Tabla 1: Cantidades de LPD empleadas en los yogures y su contenido en proteínas.**

Código	PV-0	PV-1	PV-2	PV-3
Cantidad de LPD (g)	0	17	35	52
Contenido proteína %	3,27	3,76	4,27	4,79

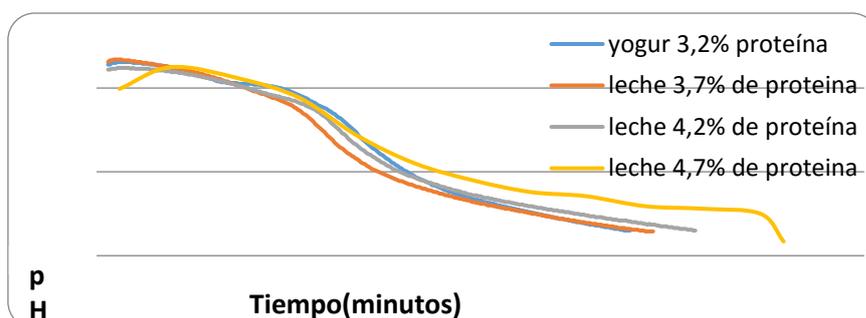
#### 4.1.1 Perfil de acidificación

Como se puede observar en la Figura 4, en la que se muestra el perfil de acidificación, cuanto mayor es la cantidad de leche en polvo que se ha añadido a la leche, es decir, cuanto mayor es el contenido en proteínas, se tarda más tiempo en alcanzar una pH de 4,6. El aumento en el tiempo de acidificación empieza a ser notable a partir de contenidos en proteína del 4,2%, debido a al aumento del poder tampón.

Resultados similares ya han sido observados por otros autores, (Kristo et al ,2003) cuanto menor era el contenido de sólidos totales añadidos al yogur, mayor es la velocidad máxima de acidificación. Otros autores habían demostrado anteriormente resultados similares Ozer, Robinson, Grandison, y Bell, (1998), que al aumentar el contenido en sólidos totales el tiempo de acidificación es mayor.

El efecto de los sólidos lácteos sobre la velocidad de acidificación se debe a la capacidad tampón de estos. Un bajo contenido en sólidos significa una menor capacidad tampón y por tanto una mayor disminución en el pH. (Kristo et al 2003).

**Figura 4: Perfil de acidificación de los yogures de vaca**



.PV-0: 3,27% proteína; PV-1:3,76% proteína; PV-2:4,27% proteína; PV-4: 4,79% proteína.

#### 4.1.2 Análisis microbiológico

En la Tabla 2 se muestran los resultados del recuento microbiológico, se puede observar que en todos los yogures fabricados es mayor el número de *Streptococcus thermophilus* que el número de *Lactobacillus bulgaricus*, (Biorollo et al., 2000, Kneifel et al., 1993, Oliveira et al., 2001, Radke-Mitchell y Sandine, 1986 y Rajagopal y Sandine, 1990).

Se observa que en el caso de *Streptococcus* a medida que aumenta el contenido en proteínas se produce un aumento del número de *Streptococcus*, sin embargo solo se encuentran diferencias significativas cuando el contenido en proteínas se aumenta en un 1% con respecto al control. (Kristo et al, 2003)

comprobaron que al aumentar el contenido de sólidos totales del yogur se producía un aumento del número de ambas bacterias, debido a que un aumento del contenido en sólidos supone un medio más rico en nutrientes.

En este estudio al añadir leche en polvo a los yogures se aumenta significativamente el contenido en lactosa, lo que hace que el número de *Streptococcus thermophilus* aumente. Como se puede observar en los resultados el número de *Lactobacillus bulgaricus* no parece tener ninguna correlación con la adición de leche en polvo

**Tabla 2: Recuento de colonias de los yogures elaborados con distintas concentraciones de leche en polvo.**

Parámetros	PV-0	PV-1	PV-2	PV-3
<i>S. thermophilus</i> (log ufc g-1)	8,64 ± 0,03 a	8,65 ± 0,08 a	8,84 ± 0,06 b	8,96 ± 0,05 b
<i>L. bulgaricus</i> (log ufc g-1)	5,96 ± 0,03 c	5,43 ± 0,03 a	5,72 ± 0,02b	5,50 ± 0,03 a

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad, p <0,05

PV-0: 3,27% proteína; PV-1:3,76% proteína; PV-2:4,27% proteína; PV-4: 4,79% proteína.

#### 4.1.3 Análisis físicoquímicos

En los resultados de la Tabla 3 se observa una pequeña disminución en el pH de los yogures durante su almacenamiento a 4°C. La disminución del pH durante el almacenamiento se espera como resultado de la presencia de *Lactobacillus*. (Tamine y robinson, 1999). Esto ha sido observado también en diversas bebidas lácticas (Oliveira, Sodini, Remeuf, Tissier, y Corrieu, 2002).

La post-acidificación ocurrió independientemente del nivel de suplementación de proteína en leche, ya que como se puede observar en la Tabla 3 no existe una correlación. Esto también fue comprobado en yogures suplementados con leche desnatada en polvo (Damin et al, 2009.)

En cuanto a la composición nutricional del yogur se puede observar que a medida que se produce un aumento en el contenido de leche en polvo desnatada, se obtienen yogures con un mayor contenido en proteínas, azúcares (lactosa), y calcio, pero con un menor contenido en grasa, como es de esperar por el empleo de leche polvo desnatada.

**Tabla 3: Parámetros físicoquímicos de los yogures elaborados con distintas concentraciones de leche en polvo.**

Parámetros	PV-0	PV-1	PV-2	PV-3
pH	4,39 ± 0,01 ab	4,38±0,01 a	4,43± 0,01 c	4,40 ±0,01 b
Grasa (g)	3,83±0,05 c	3,53 ±0,04 b	3,51 ± 0,01 a b	3,42 ± 0,04 a
Proteínas (g)	3,17 ± 0,06 a	3,53 ±0,04 b	4,13 ± 0,05 c	4,58 ±0,03 d
Azúcares (g)	10,93 ± 0,07 a	11,25 ± 0,03 b	11,97 ± 0,04 c	12,46 ±0,14 d
Lactosa (g)	3,30 ± 0,07 a	3,76 ± 0,05 b	4,45 ±0,06 c	5,00 ± 0,07 d
Sacarosa (g)	7,13 ± 0,02 b	6,99 ± 0,02 a	7,02 ± 0,05 a	6,96± 0,07 a
Na (mg)	653,53 ± 40, 81 b	581 ± 19,37 a	687, 33 ± 13,06 b	782,63 ± 4,50 c
Ca (mg)	1182,63 ± 5,83 a	1246,23 ± 2,87 b	1420,23 ± 0,64 c	1628,23 ± 1,89 d
Kcal	94,1 ± 0,35 a	94,16 ± 0,34 a	99,29 ± 0,36 b	102,29 ± 0,76 c

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad, p <0,05

PV-0: 3, 27%; PV-1:3, 76% proteína; PV-2:4, 27% proteína; PV-3: 4, 79% proteína.

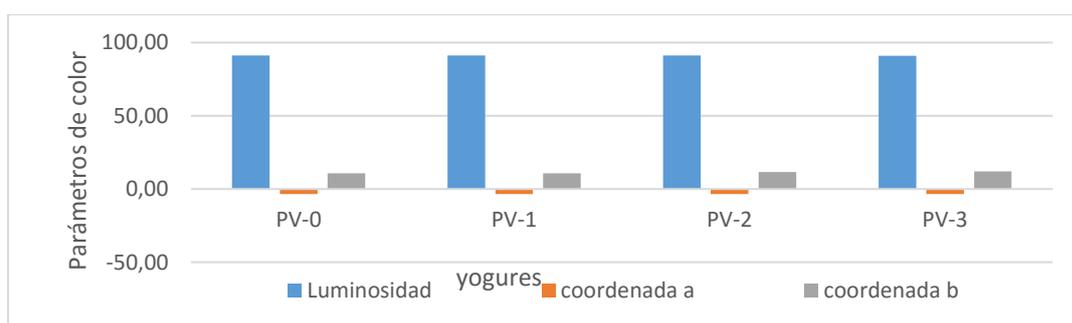
#### 4.1.4 Análisis físicos

##### ❖ Análisis de color

En la Figura 5 se observa que la luminosidad y el parámetro  $a^*$  no varían significativamente al aumentar el contenido en proteínas, sin embargo el parámetro  $b^*$  aumenta significativamente al aumentar el contenido en proteínas en un 1% con respecto al control, es decir tiende al color amarillento a medida que aumenta el contenido en proteínas.

Esto puede ser debido a reacciones de pardeamiento producidas en el calentamiento que se realiza en la producción de leche en polvo, en contra de una coloración más blanca debida a la adición de caseínas.

**Figura 5: Parámetros de color de los yogures elaborados con distintas concentraciones de leche en polvo.**



.PV-0: 3, 27% proteína; PV-1:3, 76% proteína; PV-2:4,27% proteína; PV-4: 4,79% proteína.

##### ❖ Análisis de textura

Como se puede observar en la Figura 6, a medida que se aumenta el contenido en proteína, aumenta la firmeza, la consistencia, la pegajosidad y la adhesividad,

existiendo diferencias significativas al aumentar el contenido en proteínas en los distintos yogures para los parámetros de textura.

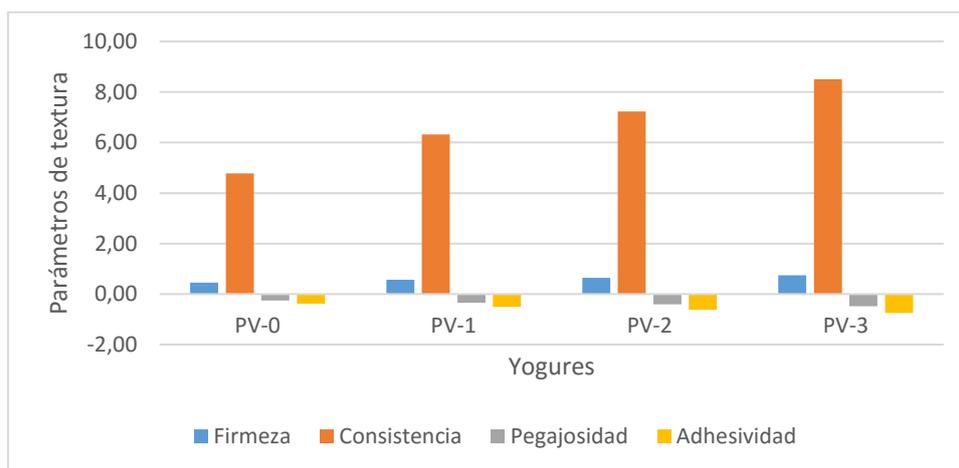
Los resultados que se observan son los esperados, ya que el yogur se trata de un gel complejo que se compone principalmente de proteína desnaturizada y de glóbulos de grasa de leche. El aumento del contenido en proteína permite reforzar la estructura de red del gel, ya que las proteínas desnaturizadas actúan como agente de relleno dentro de la matriz de caseína.

Estos resultados han sido observados también por varios autores como Jørgensen et al, (2015) que observaron que al aumentar el contenido en proteínas aumentó la firmeza, o Yu et al, (2016), observaron que los mayores valores de consistencia y firmeza se obtenían en yogures a los que se les había añadido extracto seco no graso, ya fueran altos o bajos en grasa, deduciendo que la proteína juega un papel más importante que la grasa en la textura del yogur.

En cuanto a la adhesividad y pegajosidad ocurría lo mismo, se obtuvieron los mayores valores cuando se le había añadido extracto seco no graso al yogur.

La adhesividad del yogur (el trabajo para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la de otros materiales con las que contacta) aumenta a medida que aumenta el contenido en proteínas.

**Figura 6: Parámetros de textura de los yogures elaborados con distintas concentraciones de leche en polvo.**



.PV-0: 3, 27% proteína; PV-1:3,76% proteína; PV-2:4,27% proteína; PV-4: 4,79% proteína.

#### ❖ **Análisis de Reología**

Como se puede observar en la Tabla 4, el índice de flujo era inferior a 1 sin tener una influencia significativa el contenido en proteínas. Un índice de

comportamiento de flujo ( $n$ ) inferior a 1 indica que todos los yogures presentan un comportamiento pseudoplástico, es decir que disminuye la viscosidad al aumentar la velocidad de deformación. En cuanto al índice de consistencia se observa que aumenta al aumentar el contenido en proteínas pero únicamente se aprecian diferencias significativas entre el yogur al que no se le ha añadido leche en polvo y el yogur al que se le ha añadido una mayor concentración de leche en polvo.

Los cuatro yogures presentaban un comportamiento tixotrópico (su viscosidad cambia en función del tiempo), esto se deduce mediante la medida del área de histéresis, el cual es proporcional a la energía necesaria para romper la estructura del gel. En los resultados se puede observar que el grado de tixotropía aumentaba significativamente al aumentar el contenido en proteínas, al igual que la firmeza y la consistencia (Figura 6) que están relacionadas con la tixotropía.

En cuanto a la viscosidad aparente se observa que aumenta significativamente al aumentar el contenido en proteínas. El aumento de la viscosidad aparente al aumentar el contenido en proteínas en yogures batidos fue observado por Remeuf et al, (2003). Este aumento de la viscosidad aparente es debido a que al existir un mayor contenido en proteínas tiene lugar un mayor desarrollo de cadenas y un aumento de agregados de caseína, lo que hace que la resistencia al flujo sea mayor. (Prentice, 1992).

En la prueba de deformación se observa como el módulo elástico y el módulo viscoso aumentan significativamente al aumentar el contenido en proteínas. Como se puede apreciar en la Tabla 4, en todos los yogures el módulo elástico es mayor que el módulo viscoso lo que indica que los yogures presentan un carácter viscoelástico con una mayor componente elástica esto hace que sea más estable durante el almacenamiento. En los resultados se observa que tanto el módulo elástico como el módulo viscoso aumentan a medida que aumenta el contenido en proteínas, se producen mayores interacciones proteína-proteína que aumentan el carácter elástico y se hace menos susceptible a la ruptura. (Damin, 2009).

Únicamente se encuentran diferencias significativas entre la muestra que no lleva ninguna cantidad de leche en polvo y la muestras a las que se les ha añadido leche en polvo. Dentro de estas únicamente se encuentran diferencias significativas si el contenido en proteína aumenta en un 1%. Resultados similares fueron publicados por otros autores, (Damin et al 2009)

**Tabla 4: Parámetros reológicos de los yogures con distintas concentraciones de leche en polvo**

Parámetros	PV-0	PV-1	PV-2	PV-3
G' (10Hz)	437,67 ± 48,5 a	630,67 ± 57,5 b	712 ± 34,66 bc	839 ± 94,54 c
G''(10Hz)	117,667 ± 12,503 a	167,67 ± 15,28 b	190 ± 9,54 bc	223,67 ± 23,5 c
Área de histéresis (Pa s)	13061,88 ± 511,74 a	15177,93 ± 472,96 b	17865,79 ± 372,88 c	20920,11 ± 468,25 d
Viscosidad (Pa s)	140 ± 3,61 a	205,33 ± 10,02 b	257,67 ± 14,47 c	339 ± 5,57 d
K (Pa s <sup>n</sup> )	1,64 ± 0,07 a	3,60 ± 0,46 ab	5,14 ± 0,72 ab	6,82 ± 3,02 b
n	0,50 ± 0,00 a	0,42 ± 0,02 a	0,39 ± 0,02 a	0,40 ± 0,10 a
r <sup>2</sup>	0,77 ± 0,00 a	0,79 ± 0,02 a	0,77 ± 0,01 a	0,82 ± 0,10 a

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad, p < 0,05.

.PV-0: 3,27% proteína; PV-1:3,76% proteína; PV-2:4,27% proteína; PV-3: 4,79% proteína.

#### 4.1.5 Análisis sensorial

En el análisis sensorial se encontró que únicamente los jueces encontraban diferencias significativas en la firmeza y en la cremosidad (Tabla 5). Estos resultados eran esperados, ya que Tomaschunas et al, (2012) realizaron una prueba sensorial en la que se encontraron diferencias significativas en cuanto a la firmeza debido al aumento del contenido en proteínas. Otros autores también han encontrado resultados similares, (Janhoj et al, 2006; Johansen et al, 2008; Mistry y Hassan, 1992; Modler et al., 1983). Estos datos concuerdan con los observados en el estudio reológico y de textura.

En cuanto a la cremosidad se encontraron diferencias significativas al aumentar en un 1% el contenido en proteínas respecto al control, esto es debido a que los panelistas relacionan la cremosidad con el aumento del contenido en grasa y no con el aumento del contenido en proteínas (Tomaschunas et al, 2012). Sin embargo es posible que se encontraran diferencias significativas al aumentar en un 1% el contenido en proteína debido a que los panelistas tienden a relacionar la cremosidad con la consistencia o la firmeza.

Para la preferencia, olor láctico y sabor láctico no se encontraron diferencias significativas, si bien el yogur mejor valorado fue el PV-2.

Para llevar a cabo el segundo ensayo se eligió el yogur al que no se le había añadido leche en polvo y al que se le añadió la menor concentración de leche en polvo, ya que esto supone un ahorro para la empresa y además en la prueba sensorial no se encontraron diferencias significativas para la preferencia.

**Tabla 5: Parámetros sensoriales de los yogures con distintas concentraciones de leche en polvo**

Parámetros	PV-0	PV-1	PV-2	PV-3
Preferencia	2,3 ± 1,25 a	2,5 ± 0,97 a	2,67 ± 1,23 a	2,33 ± 1,23 a
Cremosidad	1,4 ± 0,97 a	2,2 ± 0,63 ab	3 ± 0,67 bc	3,4 ± 1,08 c
Firmeza	1,1 ± 0,32 a	2,1 ± 0,74 b	3 ± 0 c	3,8 ± 0,63 d
Intensidad de olor	2 ± 1,32 a	2,33 ± 0,87 a	2,67 ± 1 a	3 ± 1,23 a
Olor a láctico	2 ± 1,23 a	2,22 ± 0,97 a	2,78 ± 0,97 a	3 ± 1,23 a

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad,

## 4.2 Resultados y discusión segundo ensayo

En el segundo ensayo, se elaboraron 8 lotes de yogur de vaca azucarado batido, con el objetivo de realizar el estudio sobre la influencia del contenido en proteína (P), el tipo de fermento (F) y las condiciones de homogeneización (H).

**Tabla 6: Condiciones del segundo ensayo.**

ENSAYO-yogures									
Homogeneización (MPa)	0				28				3,1 kg leche
LPD (% proteína)	0 (3,2)		1,7% (3,7)		0 (3,2)		1,7% (3,7)		
Fermento	L903	Adv. 2.0	L903	Adv. 2.0	L903	Adv. 2.0	L903	Adv. 2.0	
Código	EV-1	EV-2	EV-3	EV-4	EV-5	EV-6	EV-7	EV-8	8 Trat

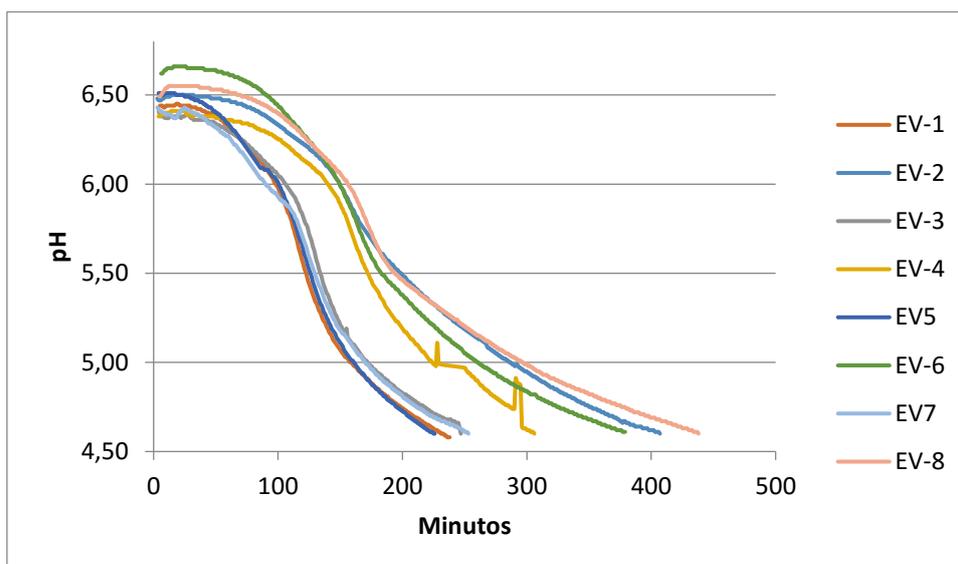
### 4.2.1 Perfil de acidificación

En la Figura 7 se puede apreciar que el factor que más influencia tiene en el tiempo de acidificación es el tipo de fermento, ya que los yogures que primero alcanzan un pH de 4,6, han sido los yogures a los que se les ha inoculado el fermento YF-903 y no se les ha añadido leche en polvo. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por (Sodini, et al ,2012).

En cuanto a la homogeneización, parece que los yogures no homogeneizados alcanzan antes un pH de 4,6.

Se concluye que es necesario seguir estudiando cual es el efecto de la homogeneización sobre la velocidad de acidificación, no se sabe si puede ser que al someter la leche al proceso de homogeneización la producción de ácido se altere o si existe un efecto tampón de algún componente al tratar la leche con elevada presión.

**Figura 7: Perfil de acidificación de los yogures del segundo ensayo.**



EV-1: No homogeneización, No LPD, Fermento YF-903; EV-2: No homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-3: No homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-4: No homogeneización, LPD, Fermento Advance; EV-5: Homogeneización, no LPD, Fermento YF-903; EV-6: Homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-7: Homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-8: Homogeneización, LDP, Fermento Advance.

#### **4.2.2 Análisis microbiológico**

En la Tabla 1 del Anexo I se muestra que los tres factores influyen en el recuento de las dos bacterias.

Con la prueba de Tukey se observan más detalladamente las diferencias entre los distintos yogures (Tabla 1 del Anexo II).

La homogeneización aumenta la cantidad de *Streptococcus* y *Lactobacillus*. Estos resultados concuerdan con los de Serra et al, (2008). Se observa que al aumentar el contenido en proteínas disminuye el número de *Streptococcus* mientras que el número de *Lactobacillus* aumenta.

La correlación más clara que se observa es que el fermento Advance aumenta el número de *Lactobacillus* más que con el fermento YL-903. Mientras que con el fermento YL-903 aumenta el número de *Streptococcus*.

#### **4.2.3 Análisis físicoquímico**

En la Tabla 2 del Anexo I, se puede observar que la proteína es significativa para todos los parámetros excepto para el sodio, el fermento tampoco es significativo para el sodio, además del calcio y sacarosa. Mientras que la homogeneización únicamente influye en la grasa, en la lactosa y en las Kcal.

En la Tabla 2 del Anexo II, se observa que a medida que aumenta el contenido en proteína, el valor del pH es más elevado, esto puede ser debido a que la proteína ejerce un efecto tampón en el descenso del pH.

La adición de leche en polvo provoca un aumento del contenido en proteína, azúcares, lactosa, calcio y kilocalorías, estos resultados eran evidentes ya que la leche en polvo que se ha añadido al yogur presenta un elevado contenido en estos nutrientes.

La homogeneización de los yogures provoca un aumento en el contenido en grasa y por tanto de kilocalorías, lo cual puede ser debido por menores pérdidas de grasa en la etapa de pasteurización y envasado

En cuanto al fermento se puede observar que los yogures a los que se les ha inoculado el fermento Advance presentan un pH más elevado, y un mayor contenido en proteína, y azúcares como la lactosa, que aquellos a los que se les ha inoculado el fermento YF-903, de lo que se deduce que el fermento Advance tarda más tiempo en metabolizar la lactosa para reducir el pH, por lo que su contenido en azúcares es mayor y el pH desciende más lentamente. Al aumentar el contenido en estos nutrientes también aumenta las kilocalorías del yogur.

#### **4.2.4 Análisis físicos**

##### **❖ Análisis del color**

El ANOVA multifactorial mostró que el aumento del contenido en proteínas influye en las coordenadas cromáticas, por otro lado el fermento empleado tiene influencia únicamente sobre la coordenada  $a^*$ , mientras que la homogeneización influye para los tres parámetros. (Tabla 3 del Anexo I).

Para ver más detalladamente las diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey, en la Figura 8 del se pueden observar los resultados.

La correlación más clara que se observa es que la homogeneización aumenta la luminosidad. Estos resultados eran esperados, ya que la homogeneización provoca una disminución del tamaño de los glóbulos grasos y por tanto un aumento de los mismos; como consecuencia disminuye la aglutinación de la grasa y el color es más blanco, debido a que el mayor número de glóbulos grasos aumenta la dispersión y reflexión de la luz.

Los resultados que obtuvimos concuerdan con un estudio realizado por Voigt et al,( 2012), en que empleó leche sin homogeneizar y leche homogeneizada a distintas

presiones para la elaboración de queso, obteniendo una mayor luminosidad en los quesos que habían sido elaborados con leche homogeneizada.

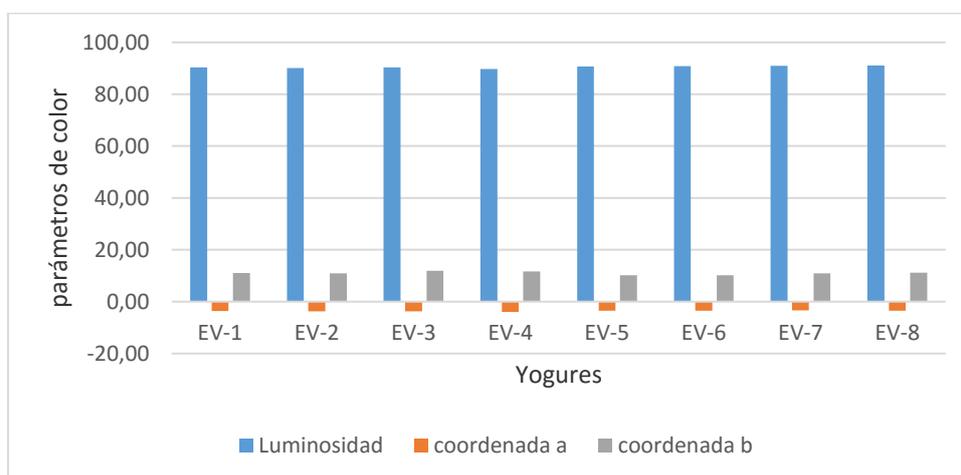
También se observa que los yogures no homogeneizados presentan valores más negativos de  $a^*$ , lo que indica que presentan una mayor tendencia al color verde. En un estudio realizado por Pereda, (2009) se comprobó que cuanto menor era la presión aplicada a la leche se obtenían valores más negativos de  $a^*$ , lo que concuerda con nuestros resultados. En cuanto a la coordenada  $b^*$  se observa que aumenta su valor en los yogures no homogeneizados.

El fermento Advance proporciona valores de  $a^*$  superiores que cuando se utiliza el fermento YF-903.

En cuanto al contenido en proteínas, se observa que aumentar la cantidad se obtienen valores de  $a^*$  y  $b^*$  más elevados, con mayor influencia en la coordenada  $b^*$ , es decir una coloración más amarillenta, esto puede ser debido a reacciones de Maillard como se explicó en el primer ensayo.

La interacción H-F presenta una gran influencia para coordenada  $b^*$  obteniéndose los valores más altos en los yogures no homogeneizados y con leche en polvo.

**Figura 8: Parámetros del color de los yogures del segundo ensayo.**



EV-1: No homogeneización, No LPD, Fermento YF-903; EV-2: No homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-3: No homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-4: No homogeneización, LPD, Fermento Advance; EV-5: Homogeneización, no LPD, Fermento YF-903; EV-6: Homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-7: Homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-8: Homogeneización, LDP, Fermento Advance

#### ❖ **Análisis de textura**

En la Tabla 4 del Anexo I se observa que los tres factores influyen para los cuatro parámetros de textura.

En la Figura 9 se puede observar como al aumentar el contenido en proteína se produce un aumento significativo de los cuatro parámetros de textura, de igual modo, la homogeneización también aumenta los cuatro parámetros. Aunque el factor que más influye es la homogeneización.

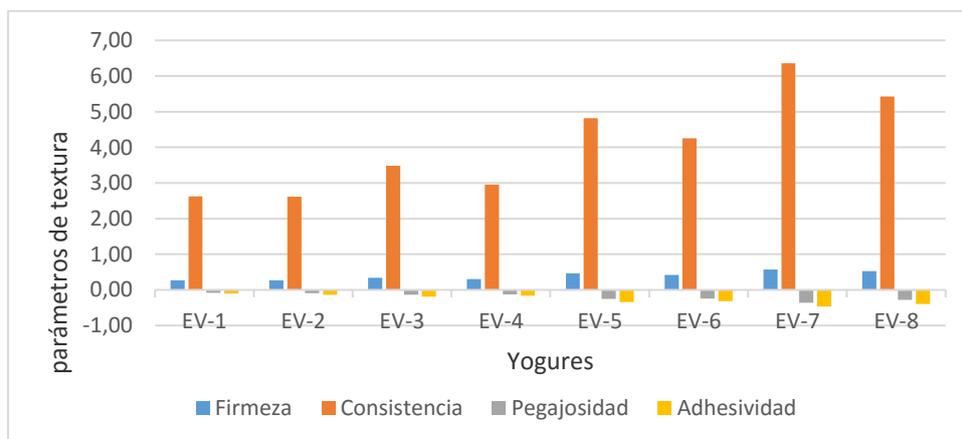
El efecto combinado de la homogeneización y el contenido en proteínas es significativo para la firmeza, consistencia y adhesividad, obteniéndose los mayores valores. Este efecto ha sido ampliamente comprobado por otros autores (Ciron et al, 2010; Serra et al 2007).

Estos resultados eran esperados, ya que al aplicar presión las micelas se mantienen, pero los glóbulos grasos se ven afectados disminuyendo su tamaño, pero con mayor área de superficie, la cual está cubierta con caseína adsorbida y proteína desnaturalizada. Esto implica una mejor textura, disminución de la separación del suero, el aumento de la firmeza de gel y una mejor integración de los glóbulos de grasa. (Nguyen et al, 2015).

En cuanto fermento se observa que el fermento YF-903 aporta valores significativamente mayores para los cuatro parámetros, aunque las diferencias son más acusadas en consistencia y firmeza.

Los cultivos starter que producen exopolisacáridos mejoran la textura del yogur, ya que tienen un comportamiento polímero que aumenta la capacidad de unirse al agua y mejoran la viscosidad, de los que se puede deducir que el fermento YF-903 produce más cantidad de exopolisacáridos. (Tamine y Robinson, 2007).

**Figura 9: Parámetros de textura de los 8 yogures del segundo ensayo.**



EV-1: No homogeneización, No LPD, Fermento YF-903; EV-2: No homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-3: No homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-4: No homogeneización, LPD, Fermento Advance; EV-5: Homogeneización, no LPD, Fermento YF-903; EV-6: Homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-7: Homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-8: Homogeneización, LDP, Fermento Advance

#### ❖ **Análisis de reología**

En la tabla 5 del Anexo I se puede observar como la homogeneización influye en todos los parámetros reológicos, mientras que el la proteína influye en todos excepto en  $n$  y  $r^2$ , y el fermento en todos excepto en  $r^2$ .

En la Tabla 3 del Anexo II se observa que al aumentar la homogeneización aumenta el modulo elástico y viscoso, el índice de flujo, el área de histéresis, y disminuye el índice de consistencia, la viscosidad aparente y  $r^2$ .

Estos resultados eran esperados ya que la firmeza de los yogures está relacionada con el comportamiento elástico del gel y por tanto módulos elásticos más elevados y mayores que el modulo viscoso se corresponden con geles menos deformables, y por tanto más firmes. La tixotropía se relaciona con la fuerza necesaria para romper el gel.

El descenso de la viscosidad e índice de consistencia puede deberse a que el proceso de batido que se realiza en los yogures imparte cuerpo y textura pero disminuye la viscosidad y podría reducir el efecto de la homogeneización. Esto concuerda con un estudio realizado por Shaker et al, (2002), donde observó una disminución del índice de consistencia y viscosidad aparente en los yogures de leche de vaca homogeneizados.

El aumento del índice de comportamiento indica que aumenta algo su comportamiento newtoniano.

Al aumentar el contenido en proteínas se produce un aumento de los dos módulos, el área de histéresis, además del índice de consistencia y la viscosidad aparente. Esto es debido a que al haber una mayor concentración de proteínas durante la coagulación se producen mayor número de interacciones proteína –proteína lo que va a dar lugar a un gel más firme y su resistencia al flujo será mayor.

La interacción H-F produce un aumento de los módulos y el área de histéresis obteniéndose los mayores valores. Sin embargo el factor que más influye es la homogeneización. Esto fue comprobado por Serra et al,(2007) que observó que a medida que se aumentaba la presión de homogeneización se obtenían módulos elástico y viscosos superiores incluso en yogures homogeneizados a una presión inferior y enriquecidos con leche en polvo.

En todos los casos el modulo elástico es superior al módulo viscoso. Esto indica que el comportamiento elástico predomina sobre el comportamiento viscoso, y que los yogures homogeneizados y con leche en polvo, presentan un mayor comportamiento elástico.

El empleo del fermento YF-903 da lugar a valores más elevados de modulo elástico, modulo viscoso, índice de consistencia, que el fermento Advance, mientras que este aumenta la viscosidad y el área de histéresis.

Los valores más elevados de viscosidad se dan en el yogur sin homogeneizar, con leche en polvo y con el fermento Advance, lo cual era una de las características más apreciadas por la empresa para la que se realizó el estudio.

#### **4.2.5 Análisis sensorial**

En la Tabla 6 del Anexo I se observa que únicamente tiene influencia en la preferencia la homogeneización. Los resultados del test de Tukey se pueden comprobar en la Tabla 4 del Anexo II, donde se observa que el panel de catadores entrenados prefieren los yogures homogeneizados.

Este resultado era esperado ya que la homogeneización se relaciona con una mejora en la textura y un mayor comportamiento elástico, características que aprecian los consumidores en un yogur.

El yogur que obtuvo una mejor valoración por parte de los catadores fue el EV-5 se trata de un yogur homogeneizado, con fermento YF-903 y sin leche en polvo, aunque no presenta diferencias significativas respecto del resto de yogures.

## **5 CONCLUSIONES**

Las conclusiones que se obtienen del estudio de la homogeneización, el contenido en proteínas y el fermento en la viscosidad y distintos parámetros de Calidad del yogurt de vaca azucarado batido de oveja son útiles para asesorar a la empresa en el desarrollo de este producto destinado para la Comunidad Marroquí.

- El tiempo de acidificación de los yogures es menor en los yogures que han sido elaborados con el fermento YF-903. La reducción del tiempo de acidificación supondría un ahorro de tiempo para la empresa.
- Los yogures elaborados con el fermento Advance y con leche en polvo presentan los valores de pH más elevados a los 7 días de su elaboración, lo que supone una menor post-acidificación, y una mayor estabilidad ya que el rápido descenso del pH provoca un sabor ácido que puede ser inadecuado

para el yogur. Los yogures con el fermento Advance y leche en polvo son los más azucarados, atributo importante para los miembros de la Comunidad Marroquí.

- La homogeneización influye en el color de los yogures, aumentando la luminosidad de tal forma que los yogures homogeneizados presentan un color más blanco. La adición de leche en polvo provoca una mayor tendencia al color amarillento al aumentar la coordenada  $b^*$ , y los yogures no homogeneizados al aumentar  $a^*$  presentan una coloración más verde.
- La homogeneización de los yogures y la adición de leche en polvo aumenta la firmeza, consistencia, adhesividad y pegajosidad de los yogures, mejorando las propiedades de textura de los yogures. Mientas que el empleo del fermento YF-903 proporciona mayores valores de textura que el fermento Advance.
- Los yogures homogeneizados presentan un mayor comportamiento elástico y un mayor grado de tixotropía que los yogures no homogeneizados, al igual que los yogures a los que se les ha añadido leche en polvo. El fermento YF-903 aumenta el módulo elástico y viscoso. La viscosidad aparente del yogur disminuye en los yogures homogeneizados y aumenta con la adición de leche en polvo y el empleo del fermento Advance. Siendo el yogur más viscoso el EV-4, aunque no existen diferencias significativas respecto al EV-3.
- El análisis sensorial demostró que el único factor que influye en la preferencia es la homogeneización prefiriéndose los yogures homogeneizados frente a los yogures no homogeneizados. Sin embargo no existen diferencias significativas en cuanto a la preferencia.

A la vista de todos los resultados se recomienda el yogur EV-5 (homogeneizado, sin leche en polvo y con el fermento YL-903) para la empresa. La elección se ha basado en que la homogeneización aumentar todos los parámetros texturales. Al no presentar leche en polvo le supone un ahorro a la empresa y aunque el fermento Advance proporciona mayor viscosidad, el fermento YF-903 mejora las propiedades de textura y reduce el tiempo de fermentación, si bien no se observaron diferencias significativas en cuanto a la viscosidad para los yogures EV-4 Y EV-5 (únicamente difieren en el fermento). Además el yogur EV-5 fue el que obtuvo una puntuación mayor en la prueba sensorial.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer al equipo de investigación de la Estación Tecnológica de la Leche del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (Palencia)

y especialmente a Dra. Carmen Asensio Vegas y Dr. David Delgado Fuentes por la orientación en el trabajo, por los conocimientos aportados, por las sugerencias y por la ayuda recibida, que han hecho posible la realización del trabajo y han sido de gran ayuda para mi formación profesional.

En segundo lugar quiero agradecer al tutor de este trabajo por parte de la Universidad de Valladolid, Daniel Sancho Rincón por todos sus aportes y sugerencias que han hecho posible la conclusión del trabajo.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Alvarado, J. D. D., & Aguilera, J. M. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos* (No. TX541. M47 2001).

BOE. (2014). Real Decreto 271/2014 de 11 de abril, por el que se aprueba la norma de Calidad del yogur o yoghurt. Madrid: Boletín Oficial del estado.

Buldo, P., Benfeldt, C., Folkenberg, D. M., Jensen, H. B., Rubio, J. M. A., Sieuwerts, S., & Ipsen, R. (2016). The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt. *LWT-Food Science and Technology*.

Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., & Auty, M. A. E. (2010). Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 20(5), 314-320.

Cruz, A. G., Cavalcanti, R. N., Guerreiro, L. M. R., Sant'Ana, A. S., Nogueira, L. C., Oliveira, C. A. F., & Bolini, H. M. A. (2013). Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. *Journal of food engineering*, 114(3), 323-330.

Damin, M. R., Alcântara, M. R., Nunes, A. P., & Oliveira, M. N. (2009). 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. *LWT-Food Science and Technology*, 42(10), 1744-1750.

De Brabandere, A. G., & De Baerdemaeker, J. G. (1999). Effects of process conditions on the pH development during yogurt fermentation. *Journal of food engineering*, 41(3), 221-227.

Fuquay, J. W., Fox, P. F., & McSweeney, P. L. (2011). Encyclopedia of Dairy Sciences 2nd Edition, Four-Volume set. Academic Press.

Hilali, M., Iñiguez, L., Knaus, W., Schreiner, M., Wurzinger, M., & Mayer, H. K. (2011). Dietary supplementation with nonconventional feeds from the Middle East: Assessing the effects on physicochemical and organoleptic properties of Awassi sheep milk and yogurt. *Journal of dairy science*, 94(12), 5737-5749.

ISO 1735:2004. (2013). Chesse and processed cheese products- Determination of fat content –Gravimetric method (Reference method)

ISO 22662:2007. (2013). Milk and milk products. Determination of lactose content by high- performance liquid chromatography.

ISO 2917:1999. (2010). Meat and meat products measurement of pH (Reference method).

ISO 5943:2006 (2011). Cheese and processed cheese products .Determination of chloride content. Potentiometric titration method.

ISO 8968:2004. Milk. Determination of nitrogen content. Part: 3: Block-digestion method (Semi-micro rapid routine method)

ISO 7218: 2008, Microbiology of food and animal feeding stuffs--General requirements and guidance for microbiological examinations.

Jørgensen, C. E., Abrahamsen, R. K., Rukke, E. O., Johansen, A. G., Schüller, R. B., & Skeie, S. B. (2015). Improving the structure and rheology of high protein, low fat yoghurt with undenatured whey proteins. *International Dairy Journal*, 47, 6-18.

Kristo, E., Biliaderis, C. G., & Tzanetakis, N. (2003). Modelling of the acidification process and rheological properties of milk fermented with a yogurt starter culture using response surface methodology. *Food Chemistry*, 83(3), 437-446.

Kristo, E., Biliaderis, C. G., & Tzanetakis, N. (2003). Modelling of rheological, microbiological and acidification properties of a fermented milk product containing a probiotic strain of *Lactobacillus paracasei*. *International Dairy Journal*, 13(7), 517-528.

Lewis, M. J. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado (No. TX357. L52 1993).

MFHPB-03. 2013. Methods for the microbiological analysis of foods. Determination of the pH of foods including foods in hermetically sealed containers. Canada.

Misawa, N., Barbano, D. M., & Drake, M. (2016). Influence of casein as a percentage of true protein and protein level on color and texture of milks containing 1 and 2% fat. *Journal of dairy science*.

Nguyen, H. T., Ong, L., Kentish, S. E., & Gras, S. L. (2015). Homogenisation improves the microstructure, syneresis and rheological properties of buffalo yoghurt. *International Dairy Journal*, 46, 78-87.

Pereda, J., & Trujillo Mesa, A. J. (2009). Utilización de la ultra alta presión por homogenización como alternativa al tratamiento de pasteurización para la obtención de leche en consumo. Universitat Autònoma de Barcelona,

Remeuf, F., Mohammed, S., Sodini, I., & Tissier, J. P. (2003). Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. *International Dairy Journal*, 13(9), 773-782.

Romero del Castillo Shelly, R., & Mestres Lagarriga, J. (2004). Productos lácteos: tecnología. EDICIONES UPC

Serra, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2009). Evaluation of physical properties during storage of set and stirred yogurts made from ultra-high pressure homogenization-treated milk. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 82-91.

Serra, M., Trujillo, A. J., Pereda, J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2008). Quantification of lipolysis and lipid oxidation during cold storage of yogurts produced from milk treated by ultra-high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 89(1), 99-104.

Serra, M., Trujillo, A. J., Quevedo, J. M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2007). Acid coagulation properties and suitability for yogurt production of cows' milk treated by high-pressure homogenisation. *International Dairy Journal*, 17(7), 782-790.

Shaker, R. R., ABU-JDAYIL, B., Jumah, R. Y., & Ibrahim, S. A. (2002). Rheological properties of set yogurt as influenced by incubation temperature and homogenization. *Journal of food quality*, 25(5), 409-418.

Tomaschunas, M., Hinrichs, J., Köhn, E., & Busch-Stockfisch, M. (2012). Effects of casein-to-whey protein ratio, fat and protein content on sensory properties of stirred yoghurt. *International dairy journal*, 26(1), 31-35.

Varnam, A. H., & Sutherland, J. P. (1995). *Leche y productos lácteos: tecnología, química y microbiología*. Acribia.

Voigt, D. D., Chevalier, F., Donaghy, J. A., Patterson, M. F., Qian, M. C., & Kelly, A. L. (2012). Effect of high-pressure treatment of milk for cheese manufacture on proteolysis, lipolysis, texture and functionality of Cheddar cheese during ripening. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13, 23-30.

Yu, H. Y., Wang, L., & McCarthy, K. L. (2016). Characterization of yogurts made with milk solids nonfat by rheological behavior and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Food and Drug Analysis*.

#### **Páginas web**

MAGRAMA. (2016). Informe mensual del sector lácteo en España. Consultado 3/06/2016. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/informedecoyunturasectorvacunodeleche-mayo2016\\_tcm7-420880.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/informedecoyunturasectorvacunodeleche-mayo2016_tcm7-420880.pdf)

MAPA. (2003). Diagnóstico y análisis estratégico del sector agroalimentario Español. Análisis de la cadena de producción y distribución del sector de lácteos. Consultado 3/06/2016. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informe\\_lacteos\\_tcm7-7945.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/informe_lacteos_tcm7-7945.pdf).

## ANEXO I

En el Anexo I se muestran los resultados estadísticos obtenidos del ANOVA multifactorial, para ver cómo influye la homogeneización, el contenido en proteínas y el tipo de fermento.

**Tabla 1: Efecto de los factores proteína, homogeneización y fermento y sus interacciones sobre los recuentos microbiológicos.**

Parámetros	Proteína	Homogeneización	Fermento	P-H	P-F	H-F
S. thermophilus (log ufc g-1)	*	***	***	***	***	ns
L. bulgaricus (log ufc g-1)	***	**	***	***	**	***

ns,no significativo, \* significativo al 95%, \*\* significativo al 99% \*\*\* significativo al 99,9%

**Tabla 2: Efecto de los factores proteína, homogeneización y fermento y sus interacciones sobre los parámetros físicoquímicos.**

Parámetros	Proteína	Homogeneización	Fermento	P-H	P-F	H-F
pH	***	ns	***	*	ns	***
Grasa (g)	**	***	***	ns	*	ns
Proteína (g)	***	ns	*	ns	ns	ns
Azúcares (g)	***	ns	***	ns	**	*
Lactosa (g)	***	*	***	ns	***	**
Sacarosa (g)	*	ns	ns	*	ns	ns
Na (mg)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Calcio (mg)	***	ns	ns	ns	ns	**
kcal	***	*	***	*	***	ns

ns,no significativo, \* significativo al 95%, \*\* significativo al 99% \*\*\* significativo al 99,9%

**Tabla 3: Efecto de los factores proteína, homogeneización y fermento y sus interacciones sobre los parámetros de color.**

Parámetros	Proteína	Homogeneización	Fermento	P-H	P-F	H-F
L*	ns	***	ns	ns	ns	*
a*	**	***	***	***	**	ns
b*	***	***	ns	ns	ns	ns

ns,no significativo, \* significativo al 95%, \*\* significativo al 99% \*\*\* significativo al 99,9%

**Tabla 4: Efecto de los factores proteína, homogeneización y fermento y sus interacciones sobre los parámetros de textura.**

Parámetros	Proteína	Homogeneización	Fermento	P-H	P-F	H-F
Firmeza (N)	***	***	***	***	**	**
Consistencia (N x s)	***	***	***	***	**	**
pegajosidad (N)	***	***	**	ns	**	*
Adhesividad (N x s)	***	***	**	***	**	***

ns,no significativo, \* significativo al 95%, \*\* significativo al 99% \*\*\* significativo al 99,9%

**Tabla 5: Efecto de los factores proteína, homogeneización y fermento y sus interacciones sobre los parámetros de reología.**

Parámetros	Proteína	Homogeneización	Fermento	P-H	P-F	H-F
G (10Hz)	***	***	**	**	**	ns
G''(10Hz)	***	***	*	**	**	ns
K (Pa s <sup>n</sup> )	*	***	*	ns	*	ns
n	ns	***	**	ns	ns	*
r <sup>2</sup>	ns	***	ns	ns	ns	ns
Área de histeresis (Pa s)	***	***	*	**	*	***
Viscosidad (Pa s)	***	***	**	**	*	**

ns,no significativo, \* significativo al 95%, \*\* significativo al 99% \*\*\* significativo al 99,9%

**Tabla 6; Efecto de los factores proteína, homogeneización y fermento y sus interacciones sobre la preferencia de los yogures.**

Parámetros	Proteína	Homogeneización	Fermento	P-H	P-F	H-F
Preferencia	ns	*	ns	ns	ns	ns

ns,no significativo, \* significativo al 95%, \*\* significativo al 99% \*\*\* significativo al 99,9%

## ANEXO II

En el Anexo II se muestran los datos estadísticos procedentes del ANOVA de un factor, para ver más detalladamente las diferencias estadísticas entre los distintos yogures.

**Tabla 1: Recuento microbológico de los ocho yogures del segundo ensayo.**

Parámetros	EV-1	EV-2	EV-3	EV-4	EV-5	EV-6	EV-7	EV-8
<i>S. Thermophilus</i> (log ufc g-1)	8,46 ± 0,03 bc	8,58 ± 0,04 d	8,56 ± 0,04 cd	8,17 ± 0,04 a	8,58 ± 0,04 d	8,44 ± 0,05 b	8,63 ± 0,04 d	8,53 ± 0,02 bcd
<i>L. bulgaricus</i> (log ufc g-1)	5,62 ± 0,02 b	7,18 ± 0,03 f	5,79 ± 0,03 c	7,02 ± 0,09 d	5,33 ± 0,33 a	7,33 ± 0,03 f	5,52 ± 0,02 b	7,64 ± 0,02 g

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad

EV-1: No homogeneización, No LPD, Fermento YF-903; EV-2: No homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-3: No homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-4: No homogeneización, LPD, Fermento Advance; EV-5: Homogeneización, no LPD, Fermento YF-903; EV-6: Homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-7: Homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-8: Homogeneización, LDP, Fermento Advance.

**Tabla 2: Parámetros físicoquímicos de los ocho yogures del segundo ensayo**

Parámetros	EV-1	EV-2	EV3	EV-4	EV-5	EV-6	EV-7	EV-8
pH	4,38 ± 0,02 bc	4,4167 ± 0,01 c	4,42 ± 0,02 c	4,52 ± 0,03 d	4,31 ± 0,01 a	4,50 ± 0,03 d	4,37 ± 0,01 b	4,53 ± 0,01 d
Grasa (g)	3,22 ± 0,02 a	3,21 ± 0,10 a	3,23 ± 0,07 a	3,66 ± 0,07 d	3,41 ± 0,01 bc	3,50 ± 0,03 cd	3,31 ± 0,07 ab	3,57 ± 0,08 cd
Proteína (g)	2,97 ± 0,02 a	2,97 ± 0,02 a	3,48 ± 0,06 b	3,55 ± 0,04 b	2,94 ± 0,01 a	2,99 ± 0,03 a	3,45 ± 0,03 b	3,50 ± 0,04 b
Azúcares (g)	11,38 ± 0,06 a	11,65 ± 0,04 ab	11,59 ± 0,20 ab	12,52 ± 0,17 c	11,26 ± 0,21 a	11,58 ± 0,09 ab	11,85 ± 0,08 b	12,25 ± 0,14 c
Lactosa (g)	3,31 ± 0,06 ac	3,58 ± 0,04 c	3,66 ± 0,08 cd	4,68 ± 0,11 f	3,24 ± 0,11 a	3,57 ± 0,11 bc	3,86 ± 0,07 d	4,21 ± 0,12 e
Sacarosa	7,58 ± 0,02 a	7,57 ± 0,07 a	7,43 ± 0,14 a	7,34 ± 0,18 a	7,53 ± 0,13 a	7,52 ± 0,02 a	7,49 ± 0,03 a	7,54 ± 0,05 a
Na (mg)	700,83 ± 253,95 a	614,43 ± 31,30 a	668,20 ± 78,21 a	679,27 ± 50,69 a	614,63 ± 26,63 a	613,60 ± 40,09 a	606,97 ± 45,90 a	682,13 ± 231,94
Calcio (mg)	1173,83 ± 22,83 a	1134,30 ± 3,86 a	1436,60 ± 13,89 c	1344,93 ± 31,19 b	1156,83 ± 31,10 a	1181,37 ± 36,99 a	1393,73 ± 39,30 bc	1410,60 ± 12,01 bc
Kcal	89,71 ± 0,26 a	90,63 ± 0,91 ab	97,72 ± 1,09 bcd	100,54 ± 1,12 e	90,78 ± 0,97 abc	93,06 ± 0,06 cd	94,35 ± 0,95 d	98,44 ± 0,61 e

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad.;EV-1: No homogeneización, No LPD, Fermento YF-903; EV-2: No homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-3: No homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-4: No homogeneización, LPD, Fermento Advance; EV-5: Homogeneización, no LPD, Fermento YF-903; EV-6: Homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-7: Homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-8: Homogeneización, LDP, Fermento Advance.

**Tabla 3: Parámetros de reología de los ocho yogures del segundo ensayo.**

Parámetros	EV-1	EV-2	EV-3	EV-4	EV-5	EV-6	EV-7	EV-8
G´(10Hz)	132,33 ± 10,79 a	154,67 ± 21,55 a	265 ± 11, 14 b	219 ± 6,25 b	413,33 ± 20,01 c	392,00 ± 6,08 c	585, 33 ± 34,56 e	532,00 ± 17,059 d
G´´(10Hz)	37,47 ± 2,70 a	43,63 ± 6,71 a	73,83 ± 2,67 b	63,90 ± 4,00 b	110,33 ± 5,03 c	106, 00 ± 1,73 c	156,33 ± 9,07 d	143,00 ± 4,58 d
Área de histéresis (Pa s)	5999,29 ± 360,91 a	5406,65 ± 305,84 a	9186, 11 ± 49,09 b	5802, 64 ± 1394, 55 a	100663,71 ± 166,73 b	13760,38 ± 187,33 c	13944,60 ± 397,07 c	17358,32 ± 170,94 d
Viscosidad(Pa s)	157,67 ± 2,08 b	200,33 ± 4,73 c	217 ± 3 cd	227, 67 ± 16,62 d	123 ± 0,00 a	129 ± 2,65 a	129 ± 2,65 a	176,33 ± 0,58 b
k(Pa s <sup>n</sup> )	2,55 ± 0,90 abc	3,14 ± 0,12 bc	4,18 ± 1,64 c	2,59 ± 0,25 abc	0,25 ± 0,02 ab	0,98 ± 0,03 a	0,98 ± 0,03 a	1,55 ± 0,09 ab
n	0,45 ± 0,08 ab	0,41 ± 0,00 a	0,40 ± 0,10 a	0,47 ± 0,01 abc	0,49 ± 0,00 abc	0,59 ± 0,00 c	0,59 ± 0,00 c	0,55 ± 0,01 bc
r2	0,91 ± 0,06 bc	0,89 ± 0,00 abc	0,86 0,09	0,92 ± 0,01 c	0,78 ± 0,00 a	0,80 ± 0,01 ab	0,80 ± 0,01 ab	0,81 ± 0,01 abc

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad

EV-1: No homogeneización, No LPD, Fermento YF-903; EV-2: No homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-3: No homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-4: No homogeneización, LPD, Fermento Advance; EV-5: Homogeneización, no LPD, Fermento YF-903; EV-6: Homogeneización, no LPD, Fermento Advance; EV-7: Homogeneización, LPD, Fermento YF-903; EV-8: Homogeneización, LDP, Fermento Advance.

**Tabla 4: Datos sensoriales para los ocho yogures elaborados en el segundo ensayo**

Parámetros	EV-1	EV-2	EV-3	EV-4	EV-5	EV-6	EV-7	EV-8
Preferencia	4,38 ± 2,57 a	3,69 ± 2,14 a	3,77 ± 2,68 a	3,92 ± 1,98 a	5,69 ± 1,80 a	4,69 ± 2,39 a	5,23 ± 2,35 a	4,62 ± 2,22 a

Valores con distinta letra en minúscula en la misma fila son significativamente diferentes a un 95% de probabilidad

