



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

Evaluación del uso de proteína de soya como sustituto parcial de grasa en yogur bajo en grasa

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

PRESENTA:

Adrián Pérez Lucio

Junio de 2008

Chapingo, Estado de México



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



EVALUACIÓN DEL USO DE PROTEÍNA AISLADA DE SOYA COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE GRASA EN YOGUR BAJO EN GRASA

Tesis realizada por **Adrián Pérez Lucio** bajo la dirección del Comité Asesor indicado,
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

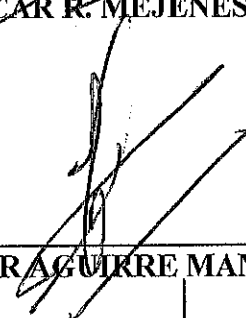
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR:



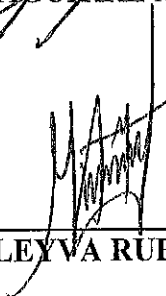
DR. AMÍLCAR R. MEJENES QUIJANO

ASESOR:



M.C. ELEAZAR AGUIRRE MANDUJANO

ASESOR:



DR. GABRIEL LEYVA RUELAS

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento otorgado para la realización de de los estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por abrirme de nueva cuenta sus puertas para realización de un posgrado.

Al programa de posgrado de Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por darme una formación durante dos años.

Al comité asesor formado por el Dr. Amilcar R. Mejenes Quijano, M.C. Eleazar Aguirre Mandujano y el Dr. Gabriel Leyva Ruelas, por su oportuna asesoría y observaciones realizadas durante la elaboración de la tesis.

Al Dr. Arturo Hernández Montes por las observaciones realizadas a este trabajo.

DEDICATORIAS

El esfuerzo realizado para la culminación de este trabajo esta especialmente dedicado a mi hijo Adrián Eduardo, quien es el mejor regalo que la vida me pudo dar. Con todo cariño para ti.

A Erika, por su compromiso y apoyo hacia mi a lo largo del tiempo que hemos pasado juntos.

A mis padres por el apoyo moral otorgado durante siempre.

A todas las personas que me han brindado su mano y su amistad, y mis viejos y nuevos amigos Armando y Francisco, por su apoyo incondicional.

DATOS BIOGRÁFICOS

Adrián Pérez Lucio, realizó sus estudios a nivel medio superior en el Colegio Miguel Hidalgo en Tapachula, Chiapas; los estudios de licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco, Estado de México. Su vida profesional la desempeño evaluando programas del Gobierno Federal y como técnico de laboratorio, en el programa de mejoramiento de maíz del INIFAP.

EVAVUALCION DEL USO DE PROTEÍNA AISLADA DE SOYA COMO SUSTITUTO PARCIAL DE GRASA EN YOGUR BAJO EN GRASA

EVALUATION OF THE USE OF ISOLATED SOY PROTEIN AS PARTIAL FAT SUBSTITUTE IN LOW-FAT YOGURT

Pérez-Lucio A.¹, Mejenes-Quijano A. R.², Aguirre-Mandujano E.², Leyva-Ruelas G.²

RESUMEN

La disminución de grasa en el yogur provoca modificaciones de sabor y de propiedades mecánicas. Los sustitutos de grasa mejoran las propiedades mecánicas. El presente trabajo estudio el efecto de la proteína aislada de soya (PAS) sobre las propiedades reológicas y sensoriales de yogur reducido en grasa. Se elaboraron yogures completo en grasa (30g/L), reducido en grasa (15g/L) y adicionados con 2, 3 y 4% de PAS. Se determinaron pruebas oscilatorias de baja intensidad. La adición de PAS incremento los valores del Módulo de almacenamiento (G') y de pérdida (G''). La adición de 2% de PAS permitió obtener yogures con propiedades reológicas similares al completo en grasa, esto asociado a una matriz proteica de elevada densidad con un número menor de glóbulos grasos. El yogur con 2% de PAS presento un perfil sensorial similar y aceptado igualmente por los consumidores que el yogur completo en grasa.

Palabras clave: propiedades reológicas, proteína aislada de soya, sustitutos de grasa, yogur.

ABSTRACT

Fat decrease in yogurt brings about modifications of flavor and mechanical properties. Fat substitutes improve the mechanical properties. This paper studies the effect of isolated soy protein (ISP) on rheological and sensorial properties of low-fat yogurt. Full-fat (30g/L), and low-fat (15 g/L) yogurts were elaborated and they were added 2, 3, and 4% of ISP. Oscillatory tests of low intensity were determined. ISP addition increased the values of the Module of Storing (G') and Lost (G''). The 2% addition of ISP allowed obtaining yogurts with rheological properties similar to full-fat yogurts; this was associated to a protein matrix of high density with a lower number of fat globules. The 2% ISP yogurt presented a similar sensorial profile and it was also accepted by consumers of full-fat yogurts.

Key words: rheological properties, isolated soy protein, fat substitutes, yogurt (yoghurt)

¹Egresado de la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México

²Profesor Investigador del Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	4
ANTECEDENTES.....	6
YOGURT	6
PROTEÍNAS DE LA LECHE.....	7
PROTEÍNAS DE LA SOYA	7
<i>Composición de aminoácidos de la proteína de soya.....</i>	<i>9</i>
<i>Aplicaciones de la proteína de soya.....</i>	<i>9</i>
SUSTITUTOS DE GRASA	11
REOLOGÍA Y PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	12
MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS	14
PRUEBAS DINÁMICAS	15
EVALUACIÓN SENSORIAL.....	16
ANÁLISIS SENSORIAL DESCRIPTIVO.....	17
<i>Pruebas afectivas</i>	<i>18</i>
MATERIALES Y MÉTODOS	20
PREPARACIÓN DEL YOGUR	20
ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	20
pH Y ACIDEZ TITULABLE	21
SINÉRESIS	21
PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	21
ANÁLISIS SENSORIAL	22
<i>Análisis Descriptivo Cuantitativo.....</i>	<i>22</i>
<i>Prueba de aceptación.....</i>	<i>23</i>
DISEÑO EXPERIMENTAL	23
ANÁLISIS DE LOS DATOS INSTRUMENTALES	23
ANÁLISIS DE LOS DATOS SENSORIALES	24

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	25
SINÉRESIS	26
PH Y ACIDEZ TITULABLE.....	27
PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	30
<i>Pruebas oscilatorias de baja intensidad</i>	<i>30</i>
<i>Curvas de flujo</i>	<i>35</i>
EVALUACIÓN SENSORIAL	42
<i>Análisis Sensorial Descriptivo</i>	<i>42</i>
<i>Prueba de aceptación.....</i>	<i>51</i>
CONCLUSIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Tratamientos de yogur	23
Cuadro 2. Análisis químico proximal de los tratamientos de yogur	25
Cuadro 3. Parámetros reológicos del modelo de Herschel-Bulkley	36
Cuadro 4. Descriptores, definiciones y referencias utilizadas en el análisis sensorial descriptivo	43
Cuadro 5. Peso de los atributos sensoriales de los dos componentes principales	45
Cuadro 6. Valores medios de los atributos sensoriales de los yogures	47
Cuadro 7. Correlación de los primeros dos componentes principales del PLS1 de los atributos sensoriales y la aceptabilidad de los tratamientos de yogur	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Porcentaje de sinéresis de los yogures en función del tiempo de almacenamiento	26
Figura 2. Cambios de pH en relación con el tiempo de almacenamiento	28
Figura 3. Cambio de la acidez titulable (%) con respecto al tiempo de almacenamiento	29
Figura 4. Comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los tratamientos a los 5 días de almacenamiento.	30
Figura 5. Comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los tratamientos a los 12 días de almacenamiento	33
Figura 6. Comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los tratamientos a los 19 días de almacenamiento	34
Figura 7. Comportamiento de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte a los 5 días de almacenamiento.	39
Figura 8. Comportamiento de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte a los 12 días de almacenamiento	41

Figura 9..	Comportamiento de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte a los 19 días de almacenamiento	42
Figura 10.	Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de los tratamientos de yogur	45
Figura 11.	Cargas de correlación de los atributos sensoriales en el Análisis de Componentes Principales de los tratamientos de yogur	45
Figura 12.	Perfil sensorial de los atributos sensoriales identificados en los tratamientos de yogur	51
Figura 13.	Valores medios de la aceptación de los yogures. Calificaciones con base a una escala hedónica de 9 puntos donde: 1 = me disgusta extremadamente y 9 = me gusta extremadamente.	52
Figura 14.	Mapa de preferencia de los tratamientos de yogur	55

INTRODUCCIÓN

La leche y los productos lácteos derivados, como queso y yogur, han sido consumidos desde tiempos remotos. Los procesos tradicionales aunados a los avances de la ciencia y la tecnología han logrado hacer del arte de elaboración de dichos productos una ciencia que beneficia tanto a los niveles artesanales como a los industriales (McKinley, 2005).

Es un hecho que el yogur posee propiedades nutricionales y terapéuticas especiales. Las bacterias del yogur producen vitaminas y aumentan el contenido de aminoácidos libres y ácido fólico. Además el yogur se digiere mejor que la leche, ya que ayuda a asimilar los nutrientes, en especial en la vejez, cuando la deficiencia de jugos gástricos no permite su fácil absorción. Las bacterias lácticas del yogur son beneficiosas para la flora intestinal, actúan como una barrera ecológica al cerrar el paso de las bacterias patógenas, estimulan las defensas naturales del organismo contra las enfermedades incitando la producción de interferón, proteína que inhibe el desarrollo de virus patógenos, aumentan la cantidad de inmunoglobulinas y activan los linfocitos B (Chen, *et al.* 1999).

En los países industrializados se ha observado en los últimos años una modificación importante en los patrones dietéticos de la población, dando prioridad a una alimentación orientada a la salud. Las recomendaciones que las autoridades de salud establecen, van dirigidas a la disminución de la ingesta de alimentos con altos contenidos de grasa, azúcar y sodio, lo que ha provocado un gran auge en el consumo de productos saludables. El consumo de productos lácteos bajo en grasa no es una excepción.

En los últimos años, el mercado de yogures ha crecido significativamente debido a la introducción de nuevos productos, en especial los llamados probióticos (Hollingworth, 2001). El éxito de este tipo de productos ha cambiado el rumbo de la investigación y desarrollo de yogures hacia la creación de productos con nuevas aplicaciones, no sólo hacia la mejora de sus características nutrimentales y de conservación.

El problema que se crea al reducir o eliminar el contenido de lípidos en la materia prima para la elaboración de productos lácteos, se refleja directamente en que la estructura interna del producto es alterada lo cual provoca la modificación en las propiedades mecánicas y el sabor; lo anterior provoca también cambios en la aceptación de los consumidores. Por lo que la industria alimentaria ha comenzado a desarrollar nuevas tecnologías e ingredientes que puedan ser usados como sustitutos totales o parciales de la grasa que es eliminada, los cuales deben emular las propiedades mecánicas que la grasa imparte a los alimentos. Uno de los ingredientes con alto potencial para ser usado como sustituto de grasa es la proteína de soya, debido a que provee diferente funcionalidad como son la absorción y retención de agua, y propiedades emulsificantes. Además, los productos a base de proteína de soya son ampliamente usados en varios tipos de alimentos como son pan, cereales, productos lácteos, sustitutos de carne y botanas (Lee and Brennan, 2005),

Existen algunas investigaciones sobre el uso de la proteína de soya como sustituto de grasa en alimentos, uno de estos es el realizado por Friedeck *et al.* (2003), quienes elaboraron helados bajos en grasa fortificados con proteína de soya, encontrando que en las pruebas sensoriales realizados a consumidores, no existieron diferencias significativas en la apariencia y textura entre los helados que contenían 0% y 4% de proteína aislada de soya, aunque los efectos en el sabor por la adición de la proteína fueron evidentes, pudiéndose reducir este efecto al saborizar los helados. Por otra parte Chin *et al.* (2000), evaluaron el uso de la proteína aislada de soya como sustituto de grasa en la elaboración del embutido cárnico Bologna baja en grasa, obteniendo dentro de los resultados, que la proteína aislada de soya puede ser usada como sustituto de grasa en la formulación de Bologna baja en grasa, sin que se pierdan las propiedades fisicoquímicas y texturales características del producto.

Algunos estudios están enfocados al desarrollo de alimentos lácteos fermentados a los cuales se les han adicionado diferentes compuestos funcionales que promueven efectos benéficos para la salud de los consumidores de este tipo de alimento. Uno de los caminos para poder incrementar el consumo de proteína de soya, es la combinación de

los beneficios que proporciona el consumo de alimentos lácteos fermentados como es el yogur con los beneficios potenciales de la proteína de soya a la salud (Fernández-García, *et al.*, 1998).

JUSTIFICACIÓN

Como componente de los alimentos, las grasas son clave en los beneficios sensoriales y fisiológicos; contribuyen al sabor, o la combinación de la percepción en el sentido del gusto, aroma u olor; también contribuyen a la cremosidad, apariencia y palatabilidad, textura, lubricación de los alimentos y el incremento de la sensación de saciedad de los alimentos. También son transportadoras de compuestos aromáticos lipofílicos, que actúan como precursores en el desarrollo del sabor, y estabilizante de sabor. Desde el punto de vista fisiológico, la grasa es una fuente de vitaminas liposolubles, ácidos grasos esenciales, precursores de prostaglandinas, y como vehículos para ciertos medicamentos lipofílicos (Akoh, 1998).

El alto consumo de grasas es asociado con el incremento en los riesgos de obesidad y algunos tipos de cáncer. La ingesta de grasas saturadas está asociada con el colesterol alto en la sangre y enfermedades cardiovasculares.

En la actualidad, el consumo de yogurt ha aumentado considerablemente; las personas preocupadas por el sobrepeso y una alimentación sana, buscan alimentos que contengan elementos nutritivos, además de ser bajos en grasa y que presenten propiedades benéficas a la salud. La producción de yogurt bajo en grasa es una alternativa para la personas con problemas de salud relacionados con el sobrepeso, problemas cardíacos y niveles altos de colesterol, entre otros

La grasa de la leche tiene un papel importante en el desarrollo de la textura, sabor y color en los productos lácteos. La reducción de grasa puede causar algunos defectos en el yogurt y helados sin grasa tales como carencia de sabor, cuerpo débil y textura pobre. Aunque, la elaboración de productos lácteos tanto los bajos en grasa y sin grasa ha sido posible por varios años, el uso de substitutos de grasa en la elaboración de productos lácteos es nuevo. Estos substitutos de grasa, los cuales disminuyen el valor de calorías en los alimentos, pueden ser usados para solucionar algunos problemas físicos y sensoriales, originados por los bajos niveles de grasa butírica en el producto final.

Los substitutos de grasa pueden ser de base proteica, de base polisacárida, compuestos sintéticos o mezclas de estos (Guven *et al.*, 2005).

La soya es una excelente fuente de proteínas de alta calidad y tiene muchos usos en alimentos humanos. La proteína de soya es única entre las proteínas vegetales porque tiene alto valor biológico y contenido de aminoácidos esenciales; lo cual hace que sea usado para la fortificación de algunos productos alimenticios, dentro de ellos los lácteos.

Además, presenta distintas propiedades funcionales que juegan un papel importante en los sistemas de alimentos; las cuales son la absorción y retención de agua, viscosidad y gelatinización; adhesión, cohesión y elasticidad, absorción de grasa y emulsificación, propiedades utilizadas en la elaboración de pastas, panadería, cárnicos, sopas y cremas.(Wolf, 1970).

Por lo que en el presente trabajo se evaluó la elaboración de yogur bajo en grasa con la adición de proteína asilada de soya como sustituto parcial de grasa butírica, y los efectos que esta sobre la propiedades sensoriales y reológicas.

ANTECEDENTES

Yogurt

El yogurt es un producto de la fermentación ácido láctica de la leche por la adición de cultivos iniciadores que contienen *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. En algunos países algunos microorganismos menos tradicionales tales como *Lactobacillus helveticus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *lactis* son mezclados con los cultivos iniciadores (Tamime, 2002). Aunque los productos de leche fermentada, como el yogur, fueron originalmente desarrollados simplemente solo como un medio para preservar los nutrientes en la leche, pronto se descubrió que en la fermentación con diferentes microorganismos existía una oportunidad para el desarrollo de una gran variedad de productos que podían presentar diferentes sabores, texturas, consistencia y muy recientemente atributos saludables. Actualmente, el mercado ofrece una vasta selección de yogures para todos los gustos y paladares. Algunos yogures presentan variedad de texturas (líquido, batidos, cremoso), contenido de grasa (luxury, bajo o sin grasa) y sabores (natural, a frutas, con cereal), y pueden ser consumidos como parte de las comidas, o como postre, y otro aspecto importante es que es fácil de conseguir todo el año; esta versatilidad junto con su aceptación como un alimento saludable y nutritivo, ha hecho que se extienda a gran parte de la población (McKinley, 2005).

Los valores terapéuticos y nutricionales de los alimentos lácteos fermentados es una característica clave en el desarrollo de nuevos productos con valor agregado que son elaborados para consumidores concientes de su salud. Muchas investigaciones reconocen los efectos benéficos del consumo de productos lácteos fermentados como el yogur, ya que ayuda a reducir los síntomas de la intolerancia a la lactosa, los cultivos lácteos presentes son parte importante para la absorción de calcio, tiene beneficios en el tracto intestinal al incrementar su flora microbiana (Fernández-García *et al.*, 1998).

En cuanto a su formulación, se ha tratado de enriquecer al yogur mediante la adición de fibra, vitaminas y calcio, entre otros nutrientes, convirtiéndolo en un alimento funcional. La incorporación de nuevos ingredientes en la formulación de yogur, cambia la

estructura original del gel, tanto física como químicamente, por lo que es importante conocer dichos efectos (Drake *et al.*, 2000).

Proteínas de la leche

Las proteínas de la leche son las proteínas animales que desde hace más tiempo y en mayor cantidad consume el hombre. Así mismo, debido a la facilidad con que se les puede aislar de la leche cruda, también son las proteínas mejor estudiadas e incluso se conocen las estructuras primarias de su totalidad. La leche de vaca es la mejor conocida; su producción es la más importante, porque se utiliza para reemplazar la leche materna y como alimento proteico esencial en los adultos. Además, la leche y sus derivados entran en la composición de numerosos alimentos domésticos o industriales y esta tendencia sigue aumentando. Asimismo, este sector se benefició del desarrollo de nuevas técnicas de fraccionamiento y transformación que mejoraron considerablemente las condiciones de consumo, conservación o incorporación (Tamime *et al.*, 1991).

En una leche normal el contenido de proteínas es de 30-35 g por litro, lo que representa el 95 % del nitrógeno total de la leche. En torno al 80 % de las proteínas, se encuentra bajo la forma de complejos macromoleculares, conteniendo una parte micelar. Las caseínas están presentes en esta forma y contienen hasta 8 % de constituyentes minerales. La fracción no sedimentable, llamada proteínas del lactosuero está constituida por proteínas globulares tales como la β -lactoglobulina, α -lactoalbúmina, inmunoglobulinas y otras en menor proporción (Cheftel, *et al.*, 1989).

Proteínas de la soya

La soya es la oleaginosa número uno en el mundo. Además, la soya es una fuente significativa de proteína (aproximadamente 40%). Aceite, harina, proteína concentrada y proteína aislada puede ser obtenido durante el procesamiento del grano de soya. En los Estados Unidos, el aceite de soya el principal producto obtenidos de la soya para

consumo humano. La mayor parte de la harina de soya y proteínas subproductos de la producción de aceite, son usados en la alimentación de animales (Friedeck *et al.*, 2003). Como el resto de las proteínas, la de la soya aporta energía, aminoácidos indispensables y nitrógeno. Cuando se procesa de manera adecuada, la proteína de soya es de excelente calidad y tan nutritiva como las de la clara del huevo y la caseína, proteínas de origen animal consideradas como las más recomendables para el consumo humano por su perfil de aminoácidos (Berry, 1998).

El valor nutritivo de las proteínas en general y de la proteína de soya en particular, está en función de varios factores, incluyendo la composición de aminoácidos, la digestibilidad de la proteína y el requerimiento de aminoácidos necesitado por el organismo alimentado con dicha proteína. Las proteínas de mayor calidad son aquellas totalmente digeribles, con un perfil de aminoácidos similar al patrón requerido por los animales o humanos que consumen el nutrimento (Cheftel, *et al.*, 1989).

Independientemente de su valor nutrimental, la proteína de soya reduce las concentraciones de colesterol sanguíneo y es fuente de isoflavonas, cuya combinación con la proteína juega un papel importante en la prevención de enfermedades del corazón. Este hallazgo ha generado la reciente aprobación de la Food and Drug Administration (FDA) permite que los productos que contienen como mínimo 6.25 g de proteína de soya por ración indiquen en su etiqueta su efecto hipocolesterolemizante; que reduce la concentración de colesterol sanguíneo (Drake *et al.* 2000).

Se han identificado dos factores primordiales que afectan la digestibilidad de la proteína de soya: la presencia de compuestos biológicamente activos y el tratamiento térmico. La proteína de soya purificada es totalmente biodisponible para los animales. En la mayoría de los casos, la proteína de soya está mezclada con otros componentes que se encuentran en la semilla como los inhibidores de tripsina, los fenoles, los fitatos, entre otros. Entre estas sustancias, los inhibidores de tripsina son reconocidos como los factores que más afectan la disponibilidad de la proteína de soya. Actúan reduciendo la digestibilidad de la proteína por su efecto en la disminución o inhibición de la acción de las enzimas

pancreáticas: tripsina y quimiotripsina. El tratamiento térmico mejora la digestibilidad de la proteína mediante la inactivación de los inhibidores de tripsina y otros antinutrientes y simultáneamente desnaturaliza las proteínas de la soya y/o modifica la estructura interna de las mismas. El efecto se evidencia con la relación paralela entre el incremento de la calidad de la proteína al ser medida por la razón de eficiencia de proteína en ratas y el tratamiento térmico y la destrucción de los inhibidores de tripsina (Cheftel *et al.*, 1989).

Composición de aminoácidos de la proteína de soya

La soya contiene todos los aminoácidos indispensables (EAA, por sus siglas en inglés) requeridos tanto en la nutrición humana como en la animal: isoleucina, leucina, lisina, metionina, cist(e)ina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina e histidina. Sin embargo, está limitada en su contenido de metionina y triptófano, aunque es abundante en lisina (Cheftel, *et al.*, 1989).

Aplicaciones de la proteína de soya

Los productos de proteína de soya han encontrado gran aplicación en prácticamente todos los sistemas alimentarios, incluyendo la panificación, productos lácteos, industria cárnica, cereales para desayuno, bebidas, fórmulas infantiles y análogos de lácteos y cárnicos. En estos sistemas alimentarios, además de mejorar el contenido proteico para generar beneficios en la nutrición y la salud, la proteína de la soya también provee de propiedades funcionales mejorando de manera notable la calidad de los productos (Zind, 1998).

Las proteínas de soya han sido incorporadas dentro de productos de carne roja y blancas (como la del pescado), por su habilidad de ligar agua y grasa, y su capacidad de estabilizar emulsiones e incrementar rendimientos. Se han hecho investigaciones sobre la proteína de soya como un ingrediente emulsificante y sustituto de grasa. Chin *et*

al.(2000) evaluaron las diferentes niveles de adición de proteína de soya como sustituto de grasa en salchichas encontrando que con 2% de adición de proteína se obtenía un producto con características sensoriales y texturales similares al original. Por otra parte, Luo *et al.* (2004) investigaron la influencia de la proteína de soya en las propiedades del gel de Surimi, donde se encontró que una alta adición de soya ayuda a aumentar la firmeza del gel, esto debido por su capacidad de emulsificación y por otra parte por su poder-inhibitorio de proteasas presentes en la carne de pescado.

En productos lácteos se ha investigado el uso de la proteína de soya como sustituto de grasa, como ingrediente funcional por sus propiedades químicas, físicas y nutrimentales. Friedeck *et al.* (2003) elaboraron un helado de leche bajo en grasa fortificado con proteína de soya, obteniendo como resultado que la textura es mas consistente en los helados adicionados con proteína, y estos a la vez presentaron olores y sabores poco agradables, los cuales después fueron saborizados; y evaluados por panelistas, quienes encontrando similitudes entre un helado sabor chocolate sin soya y uno con 4% de soya, debido a que los defectos de olor y sabor provocados por la soya pudieron ser enmascarados con el sabor. Atia *et al.* (2004) evaluaron la proteína de soya como suplemento en la elaboración de queso Cheddar, observando que se puede utilizar en un 5% la proteína de soya, siendo esta cantidad la máxima sin que se afectes las propiedades texturales y sensoriales del queso.

Diferentes sistemas de alimentos requieren de proteínas de soya con diferentes propiedades funcionales. Como ejemplos, la solubilidad de la proteína de soya es importante en la producción de leche y tofu. También es importante para elaborar productos de proteína de soya como los concentrados y aislados. La capacidad de la proteína de soya para ayudar en la formación y estabilización de emulsiones es indispensable en diversas aplicaciones en alimentos, incluyendo mayonesas, aderezos para ensaladas, carne molida, etc. La gelación es la base para el empleo de la proteína de soya en embutidos y en la elaboración de productos tradicionales como el tofu y la nata de soya. La capacidad de retención de agua es muy importante en la producción de análogos de carne, debido a que afecta la textura, la jugosidad y el sabor. También es

importante en la panificación debido a que suaviza productos y aumenta la vida de anaquel (Zind, 1998). En virtud de sus propiedades fisicoquímicas, la proteína de soya provee de varios atributos funcionales a los sistemas alimentarios, incluyendo solubilidad, emulsificación, gelación, retención de agua, entre otras.

Sustitutos de grasa

El conocimiento de los efectos desfavorables del consumo excesivo de grasas es prácticamente universal. En consecuencia, las personas están concientes de su salud por lo que sean modificados los hábitos alimenticios y disminuyendo el consumo de grasas. La aceptación del consumidor de algunos productos alimenticios depende del sabor, atributo sensorial de mayor importancia. Aunque los consumidores quieren alimentos con el mínimo de grasa y calorías, y que además también estos alimentos tengan un buen sabor. Porque varios alimentos que son formulados con sustitutos de grasa no son favorablemente comprados en cuanto al sabor de los alimentos que contienen grasa, esto es una dificultad para algunas personas que mantienen un régimen dietético reducido en grasa. En la elaboración de alimentos bajos en grasa continua con la dificultad de encontrar “el sustituto de grasa ideal” que sea parecido en sabor y en la funciones convencionales al de la grasa (Akoh, 1998).

Los beneficios que se tienen con el consumo de alimentos bajos en grasa es el disminuir los niveles de colesterol en sangre, mantener un peso adecuado a través de una menor ingesta de calorías o simplemente tener una alimentación sana, por lo que el consumo de alimentos bajos en calorías se ha incrementado. Dentro de este grupo de alimentos figura el yogur, debido a sus propiedades nutrimentales y las características de sabor y textura, así como por su fácil asimilación (Schmidt *et al.*, 1980). Sin embargo, la eliminación de la fracción grasa en los alimentos, o su modificación, altera significativamente sus propiedades mecánicas, por lo que su aceptación por los consumidores también se ve afectada.

Una alternativa que últimamente se utiliza es la adición de sustitutos de grasa, con el objetivo de cubrir o emular la funcionalidad que la grasa imparte a los alimentos. Con el uso de los sustitutos de grasa, se busca que estos tengan la misma funcionalidad o mejor que el de las grasas nativas de la leche, como son el sabor, la sensación de recubrimiento bucal, la viscosidad y otras propiedades texturales y sensoriales (Akoh, 1998). Los sustitutos parciales o totales de grasa pueden ser clasificados en tres grandes categorías: sustitutos de base proteica, de base polisacárido y compuestos sintéticos. Cada uno de estos presenta características y usos únicos.

Los sustitutos de la grasa fueron ideados para que dupliquen el sabor y la textura de la grasa y, por lo general, se clasifican en tres categorías: basados en hidratos de carbono, basados en proteínas, o basados en la grasa. Para comenzar, muchos de los productos con menor contenido de grasa que se ofrecen en el mercado fueron el resultado de nuevas técnicas de procesamiento que se valían de ingredientes comunes tales como el agua, gomas y azúcares. Otros sustitutos de las grasas se extraen de las proteínas o de la propia grasa. Cada tipo de ingrediente sustituto de la grasa proporciona algunas o todas las funciones de la grasa original, como por ejemplo, la humedad en los alimentos horneados. Los ingredientes que se utilizan para reemplazar a las grasas dependen de cómo se preparan los alimentos para su consumo. No todos los ingredientes sustitutos de las grasas son estables frente al calor. Por lo tanto, el tipo de sustituto que se utilice en un condimento para ensalada no puede utilizarse en una mezcla para preparar masas horneadas (Domagala *et al.*, 2006)

Reología y propiedades reológicas

La reología es definida como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, estudia y formula las leyes del comportamiento mecánico de los materiales. La reología es aplicada a todos los materiales, desde gases hasta sólidos. En la práctica toda prueba reológica se lleva a cabo mediante la aplicación de una fuerza a una muestra bajo estudio y la medición de su deformación o, equivalente a aplicar una deformación y medir la

resistencia que presenta. Las relaciones entre el esfuerzo y la deformación que resultan de dichas pruebas se denominan ecuaciones constitutivas.

El deslizamiento o cizalladura constituye un experimento en el que se simplifica la tensión tridimensional, esto es la deformación causada por una fuerza tangencial, cuando solo produce pequeñas deformaciones; la deformación relativa se expresa con un ángulo.

Los geles de caseína son responsables de muchas de las propiedades reológicas como el gel, la elasticidad y ruptura de los quesos y otros productos lácteos. Los estudios reológicos son representados como un método de control de calidad en plantas lecheras y como una técnica para los científicos en el estudio de la estructura de los productos, cambios en la estructura, desarrollo de nuevos productos, estudios de estabilidad y de transiciones de fase (Tunick, 2000).

Los fluidos a base de leche muestran un comportamiento reológico complejo dependiendo principalmente de la concentración de sólidos, la temperatura, y el estado físico de sus grasas y proteínas. En leche que no ha sido calentada, los glóbulos de grasa son los que mayormente contribuyen a la reología de un producto, sin embargo, durante la elaboración de bebidas lácteas fermentadas, donde se somete a la leche a un sobrecalentamiento, la estructura cuaternaria de las proteínas cambia, y se producen arreglos que dan como resultado la formación de un gel compuesto por una compleja red de proteínas, que denomina las propiedades reológicas resultantes (Steventon, *et al.*, 1990). La acidificación de la fase acuosa de la leche convierte a la dispersión coloidal de la leche en un agregado suave de comportamiento sólido (Dickinson, 2001).

La estructura del gel contribuye enormemente a sus características de textura, que es una característica sensorial muy importante que percibe el consumidor. El gel es, sin embargo, altamente susceptible a los esfuerzos cortantes y su reología es altamente dependiente de la cantidad de procesos mecánicos que recibe el producto en su elaboración (Steffe, 1996).

Medición de propiedades reológicas

Existen varias investigaciones relacionadas con el estudio de la relación que existe entre la textura y la textura en el yogurt. Las propiedades reológicas de yogurt batido y yogur asentado han sido ampliamente investigadas, así como los efectos de las variables de procesamiento como lo son el tratamiento térmico, la concentración de sólidos totales y el tipo de bacteria iniciadora en la reología y microestructura (Ozer *et al.*, 1999).

Las propiedades reológicas del yogurt batido son debidas en parte a la producción de exopolisacáridos por cepas específicas durante la incubación, que evitan la fractura del gel y la sinéresis. Las curvas de flujo (esfuerzo cortante vs. tasa de corte) pueden dar información en el desarrollo estructural de yogurt, así como pueden determinarse los modulo dinámicos. Lankes *et al.* (1998) encontraron que G' y G'' para yogurt batido incrementaron con la temperatura de incubación y la concentración de proteína. Concluyeron que la G' evaluada resulto de los fuertes enlaces de las proteínas contribuyendo así a las característica elástica, y que la G'' evaluada fue debido a los enlaces débiles. Hess *et al.* (1997) observaron que la G' y G'' evaluadas en yogurt que contenían cepas productoras de exopolisacáridos fueron menores que en aquellos que no contenían dichas cepas.

Hassan *et al.* (2003), realizaron curvas de flujo en yogurt, variando la tasa de corte de 0.00185 a 116^{-s} manteniendo las muestras a una temperatura de 5°C , realizando también un barrido de frecuencia oscilatorio de bajo esfuerzo, en donde el rango de frecuencia fue de 0.01 a 9 Hz, la temperatura fue de 5°C y el esfuerzo aplicado de 0.00412 (determinado por un barrido de amplitud en donde se encontró la zona viscoelástica lineal), realizado con el propósito de observar las distintas fases de separación en el yogurt elaborad con cultivos productores de Exopolisacáridos. Observando que una diferencia notable entre los yogures con cultivos productores de exopolisacáridos y yogures con cultivos que no producen exopolisacáridos.

En otra investigación realizada por Hess *et al.* (1997) determinaron las características reológicas de yogurt sin grasa, usando un Rheometrics RFS II Fluids Spectrometer, con la geometría de placas paralelas y una separación entre la geometría y el palto Peltier de 1 mm. Se realizaron barridos de frecuencia con 2% de deformación constante y la oscilación de frecuencia de 0.1 a 100 rad/s. Barridos de amplitud con una frecuencia constante de 1 rad/s y un rango de amplitud de 0.1 a 1000%. La viscosidad aparente fue medida usando índices de barridos con rangos de 0.1 a 100 s⁻¹. Manteniendo todas las muestras a 4°C. Evaluaron las diferencias entre las propiedades reológicas de yogurt elaborado con una cepa Eps⁺ (Exopolisacárido) y una cepa Eps⁻. Determinando que los mecanismos de la degradación estructural son diferentes en ambos yogures elaborados con las distintas cepas.

Para la determinación de las propiedades reológicas en Labhne (yogurt concentrado), Ozer *et al.* (1999), usaron un reómetro dinámico de esfuerzo controlado RTI con placas paralelas y una separación de 1mm, manteniendo la temperatura de las muestras a 25°C. Las pruebas aplicadas a las muestras fueron barridos de frecuencia con un rango de 10⁻³ a 10¹ Hz a 0.07 nNm de torque y barridos de amplitud con un rango de 1.5x10⁻² a 1.5x10⁻¹ nNm a 0.25 Hz. Observando que las amplias diferencias en las propiedades reológicas de Laven, al parecer son dependientes de los niveles de proteína y de sólidos totales.

Pruebas dinámicas

Debidos a que los geles son materiales viscoelásticos, se utilizan pruebas dinámicas para evaluar las propiedades de los sistemas como los geles. De una prueba en la región viscoelástica lineal se obtienen los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G''), así como la tan δ (G'/G'') o factor de pérdida (Recillas-Mota,, 2005).

El rango viscoelástico lineal, es el rango de amplitud en el cual G' es constante. Al seleccionar grandes valores de esfuerzos y deformaciones, este rango de viscoelasticidad lineal queda fuera, y la muestra es deformada a tal grado que las uniones secundarias de

las moléculas son destruidas. Este rango se puede determinar a través de muestras de barridos de esfuerzos o deformaciones, y la información recabada sirve para realizar otro tipo de análisis, como las pruebas de frecuencia (Steffe, 1996; Gunasekaran y Mehmet, 2000).

El modulo de almacenamiento (G'), es una medida de la energía de la deformación almacenada en la muestra durante el proceso de corte y representa el comportamiento elástico de la muestra. Por el contrario, el modulo de pérdida (G''), es el valor que mide la energía de deformación usada en la muestra durante el corte y representa el carácter viscoso de la muestra (Tabilo-Munizaga, y Barbosa-Canovas, 2005; Steffe, 1996). Por lo que si G' es más grande que G'' , el material se comportará más como un sólido, esto es, las deformaciones pueden ser esencialmente elásticas o recuperables, sin embargo, si G'' es mucho mayor a G' , la energía usada para deformar el material es disipada por el flujo y el material se comportara como viscoso (Recillas-Mota, 2005).

Evaluación Sensorial

La evaluación de los alimentos mediante los sentidos o análisis sensorial es una función primaria del hombre que, desde su infancia y de una forma inconsciente, acepta o rechaza los alimentos en relación con las sensaciones que experimenta al consumirlos. Ahora bien, las sensaciones que motivan esta aceptación o rechazo varían con el tiempo y el momento en que se perciben, dependiendo tanto de la persona como del entorno. Así, se establecen unos criterios para la selección de los alimentos, criterios que inciden sobre una de las partes de la calidad global del alimento denominada calidad sensorial (Meilgaard *et al.*, 1999).

La percepción del estímulo se manifiesta simultáneamente de tres formas diferentes; a través del aspecto cuantitativo, que se corresponde a la intensidad percibida, el aspecto cualitativo que refleja la naturaleza del estímulo y permite identificarlo y el aspecto hedónico que corresponde al placer que acompaña a la sensación. Estos tres

componentes del estímulo dan lugar a la medida sensorial analítica y a la medida hedónica.

Análisis sensorial descriptivo

Estas pruebas permiten establecer no solo si hay diferencias entre dos o más muestras, sino también el sentido o magnitud de la misma a la vez que se establecen un verdadero perfil de identidad sensorial. Este método es ampliamente usado para la comparación muchos de productos, incluyendo los lácteos como el yogur (Stone *et al.* 1991, Jaworska *et al.* 2005, Friedeck *et al.* 2003, Brennan *et al.* 2002, Drake *et al.* 2003).

La evaluación de una magnitud sensorial compleja implica una metodología basada en la búsqueda y la cuantificación de descriptores apropiados para poder realizar el llamado perfil sensorial. La formación de los conceptos sensoriales (atributo a evaluar) es de especial relevancia en el análisis descriptivo (O'Mahony, 1985), ya que uno de los objetivos es el de establecer una terminología compartida e interpretada del mismo modo por todos los panelistas.

Este tipo de pruebas descriptivas tienen principalmente un carácter analítico y deben ser realizadas por jueces seleccionados y entrenados, variando el grado de entrenamiento en función de la prueba y del objetivo del análisis. Algunas propiedades sensoriales no pueden ser descritas por un solo atributo, sino como una combinación o agrupación de varias características o notas que conforman el atributo en cuestión. Es especialmente aplicable a los casos de sabor y de textura.

El análisis sensorial descriptivo ha sido utilizado ampliamente en yogur para determinar la importancia que tiene la textura en la calidad sensorial y la aceptación de yogurt natural (Jaworska, 2005) encontrando que las propiedades de textura sensorial (consistencia y cremosidad) no se correlacionan significativamente con la aceptación de los consumidores, sin embargo, la cremosidad es mas importante que la consistencia para la determinación de la calidad sensorial global, lo cual se demuestra con una alta

correlación significativa, también se obtuvo que los atributos negativos (ausencia de sabores y percepción de sabores amargos) son factores importantes en el criterio de la aceptación de los consumidores.

Por otra parte, los efectos de la consistencia en la percepción de sabor y el gusto (Brennan *et al.* 2002), fueron evaluados utilizando tres ingredientes con diferentes combinaciones (estabilizante, saborizante y colorante), encontrando que los panelistas pudieron diferenciar la intensidad de la consistencia en los diferentes tratamientos, y que la intensidad de la consistencia no es influenciada por el uso de saborizantes en yogurt, sin embargo, el saborizante influencia las calificaciones del gusto. Saint-Eve *et al.* (2006) utilizaron el análisis descriptivo para determinar la influencia de proteínas a diferentes niveles en la percepción sensorial de yogures saborizados, encontrando que la modificación de proteína en diferentes rangos (caseinato para proteína total) influenció la percepción de las propiedades sensoriales de los yogures saborizados, así también se obtuvo que los tratamientos presentaron grandes diferencias en las propiedades de textura, y las diferencias olfatorias fueron pequeñas independientes del contenido de proteína.

Drake *et al.* (2000) evaluaron la adición de proteína asilada de soya como sustituto de leche en polvo descremada en yogur natural y como ésta podía influenciar algunos atributos sensoriales propios del yogur; con el empleo del análisis descriptivo encontraron diferencias en textura para los tratamientos y además se identificaron atributos sensoriales que fueron impartidos por la adición de proteína (sabor y olor a soya, astringencia), llegando a concluir que un nivel de adición del 2% presentaba características similares a un yogur comercial.

Pruebas afectivas

Actualmente, el mercado de los productos lácteos, especialmente el de las bebidas lácteas fermentadas presenta una situación de alta competencia, los factores que mayormente determinan la demanda de estos productos por los consumidores son su preferencia por determinados atributos sensoriales de calidad sensorial presentes en el

producto. La aceptación del yogur, así como de otros productos depende de muchos factores, pero el más importante de estos es la calidad sensorial, Jaworska *et al.* (2005)

La aceptación de alimentos puede ser medida por métodos en donde se incluyen consumidores, usando calificaciones de agrado y desagrado (marcadas en escalas hedónicas de 9 puntos), en las que el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza. Con dichas escalas se determina la magnitud de aceptación o desagrado que tiene el consumidor por el producto que se está evaluando. Estos son intentos para manejar mas objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces de cuanto les gusta o les disgusta un alimento (Meilgaard *et al.*, 1999).

Las pruebas de aceptación son ampliamente utilizadas en productos lácteos como el yogurt, para determinar si existen cambios en determinados atributos sensoriales como pueden ser la dulzura, la firmeza o textura o, así también, la percepción de forma global (Kilcast, 2002).

Drake y Gerard (2003) emplearon la técnica de aceptación para evaluar las preferencia de yogures con y sin adición de proteína de soya, la cual fue aplicada a clientes de un supermercado local y estudiantes universitarios, obtenido como resultado que los yogures sin soya obtuvieron las calificaciones más altas de aceptación, pero cuando se les indicó evaluar su aceptación tomando en cuenta los benéficos saludables de los productos, los yogures con adición de soya obtuvieron las calificaciones mas altas. Cantunes *et al.* (2005) evaluaron el uso de proteína concentrada de suero en la elaboración de yogur sin grasa y si esta podría ocasionar diferencia en cuanto a las propiedades sensoriales; usando la técnica de aceptación obtuvieron que no existía diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que la proteína concentrada de suero no modificaba las propiedades sensoriales del yogur bajo en grasa. Por otra parte Salvador *et al.* (2005) evaluaron la caducidad sensorial en yogures comerciales con diferentes contenidos de grasa y diferentes texturas usando la prueba de aceptación con

una escala hedónica de 9 puntos, la cual mostró que la vida sensorial de los yogures evaluados llegaba hasta los 30 días después de su elaboración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del yogur

Para la preparación del yogur se utilizó leche fluida de la Unidad de Tecnología Lechera de la Universidad Autónoma Chapingo, leche descremada en polvo La Suiza (Pasteurizadora Jersey del Noroeste, S. A., Tijuana, BC, México), azúcar refinada (CAZE, Ingenio San Cristóbal, México, D.F.), cultivo liofilizado de cepa MY800 de *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* y *Streptococcus salivarius* spp. *Thermophilus* Ezal (Roída Food, Francia), y proteína aislada soya (Nutrer, S.A. de C.V., Naucalpan, Estado de México). El yogur se elaboró de acuerdo al método descrito por Drake *et al.* (2000), con un contenido de sólidos totales de 15 % (p/p), con 1.0 % de grasa (P/P), leche (5% sólidos), sacarosa (5% p/), leche descremada en polvo (5 % p/p). Se elaboró un yogur control completo en grasa a partir de leche entera con 3.0% de grasa y otro, bajo en grasa con 1.5% de grasa, los tratamientos a evaluar fueron yogures bajos en grasa con 1.5% de grasa de leche con niveles de 2%, 3% y 4% de adición de proteína aislada como sustituto parcial de grasa. Los ingredientes en polvo (proteína de soya, sacarosa y leche descremada en polvo) fueron pesados y mezclados, depositándolos junto con la leche fluida previamente calentada a 65°C en una licuadora donde se mezcló por 5 min. Posteriormente, la mezcla de todos los ingredientes se sometió a un tratamiento térmico de 85± 1°C por 30 minutos. Se disminuyó la temperatura hasta 43°C y se inoculó con 2% de cultivo láctico hasta alcanzar una acidez de 0.9% acidez (% de ácido láctico).

Análisis químico proximal

La determinación del contenido de proteína se realizó por el método de Kjeldahl (AOAC, 1991). El contenido de grasa se determinó por el método de Gerber descrito

por Egan *et al.* (1987). La humedad se determinara usando el método analítico 930.15 (AOAC, 1991), evaporando el agua de la muestra y calculando la humedad por diferencia de pesos.

pH y Acidez Titulable

El pH fue medido con un potenciómetro Hanna PHEP4 (Hanna Instruments, U. S. A) introduciendo el electrodo directamente en el yogur. La acidez titulable se determinó titulando con hidróxido de sodio (0.1 N) 5 g de yogur con la adición previa de 3 gotas de fenolftaleína.

Sinéresis

Para la evaluación de la sinéresis se utilizó el método descrito por Harwalkar *et al.* (1986) colocando 40 g de yogur ($5 \pm 1^\circ\text{C}$) en tubos para centrifuga, los tubos se sellaron con parafilm, la velocidad y tiempo de centrifugación fue de 5000 rpm por 20 min. en una Centrífuga Adams (Clay Adams Inc., Chatsworth, CA), Después de retirar el sobrenadante mediante decantación el porcentaje de sinéresis (p/p) se calcula mediante la relación entre peso del sobrenadante y el peso de la muestra, con la siguiente formula:

$$\% \text{ sinéresis} = \frac{P_{mo} - P_{mc}}{P_{mo}} \times 100$$

donde:

P_{mo} = peso de la muestra original

P_{mc} = peso de la muestra centrifugada y decantada

Propiedades reológicas

La caracterización de las propiedades reológicas se realizaron en un Reometro Physica MCR 301 Dynamic Shear Rheometer (Physica Messtechnik, Stuggart, Alemania), con una geometría de plato paralelo de 50 mm de diámetro, fijando una distancia de 1 mm entre la geometría y el plato Peltier, manteniendo la temperatura de las muestras a 5°C . Se aplicaron barridos de amplitud con el objetivo de encontrar el esfuerzo crítico que la muestra soporta sin destruirse (región viscoelástica lineal), barridos de frecuencia para

describir el perfil viscoelástico de la muestra y curvas de flujo para determinar las características del comportamiento del fluido (yogur).

Los barridos de amplitud se realizaron con un intervalo de deformación de 0.1 a 100% ajustando la frecuencia a 1Hz. Los barridos de frecuencia con un rango de frecuencias de 0.01 a 10 Hz con una deformación constante de 1%. Para las curvas de flujo se aplicaron rangos de tasa de corte de 0.1 a 100 s⁻¹. Los datos generados se analizaron con el programa Rheoplus /32 V2.62 (Anton Paar Germany GmbH, Germany, 2004)

Análisis sensorial

Análisis Descriptivo Cuantitativo

El análisis descriptivo cuantitativo se llevo acabo por un panel conformado por 7 personas (2 mujeres y 5 hombres) con edades entre 22 y 33 años, y el cual fue entrenado por 3 horas diarias durante 2 meses. El análisis descriptivo se realizó siguiendo los procedimientos descritos por Meilgaard *et al.* (1991). Durante el entrenamiento se les preguntó a los panelistas si podían identificar y definir términos de apariencia, sabor y textura para los yogures. Las muestras de yogur con y sin adición de soya fueron presentadas a los panelistas de forma codificada y aleatorizadas para que pudieran apoyarse en la identificación de los atributos sensoriales y definir los términos a evaluar. Los atributos para la apariencia (color blanco), aroma (aroma a yogur, aroma a avena y aroma a soya), sabor/gusto (dulzura, sabor a soya, sensación arenosa, astringencia) fueron seleccionados. Posteriormente se determinaron referencias que podrían emplearse para realizar la determinación cuantitativa de los atributos seleccionados a evaluar. Algunas de las referencias fueron las mismas utilizadas por Drake *et al.* (2003) y otras fueron modificadas (cuadro 4). A las referencias se les asignó un valor de magnitud usando una escala de 15 cm. no estructurada, donde el extremo izquierdo indicaba ausencia o menor presencia del atributo, el lado derecho indicaba fuerte presencia del atributo. Una vez marcadas las referencias, se continuó con la determinación de los valores cuantitativos en los tratamientos de yogur.

La última sesión del análisis descriptivo cuantitativo se les presentó a los panelista una muestra a la vez, con un formato que contenía la escala de 15 cm, y en la que se le asignaba el valor a los atributos evaluados. Las muestras se evaluaron por triplicado y se presentaron en vasos codificados de degustación a una temperatura de 15°C.

Prueba de aceptación

La prueba de preferencia se realizó a un grupo de 60 personas, 34 mujeres y 26 hombres, entre edades de 20 y 55 años (estudiantes y trabajadores de la UACH que consumen regularmente yogur), se les dio a probar una muestra a la vez por cada tratamiento de forma aleatorizada y codificada junto con un formato donde se les indicó que marcaran el grado de aceptación en una escala hedónica de 9 puntos. Donde 1 = me disgusta extremadamente, 9 = me gusta extremadamente.

Diseño experimental

Las unidades experimentales consistieron en 3 L de leche por cada tratamiento. Los tratamientos fueron elaborados a diferentes niveles de grasa y adición de proteína aislada de soya como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de yogur

Muestras	% grasa	% proteína de soya
Y _{50G}	1.5	0
Y _{100G}	3.0	0
Y _{2,1.5}	1.5	2
Y _{3,1.5}	1.5	3
Y _{4,1.5}	1.5	4

Análisis de los datos instrumentales

Los datos obtenidos se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA) de clasificación simple ($\alpha \leq 0.05$) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones para

determinar los efectos que tiene una variable independiente (adición de proteína de soya, sobre las variables dependientes o respuesta (acidez titulable, pH, sinéresis, propiedades sensoriales y reológicas). Se usó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) para las comparaciones de medias. El análisis de los datos se efectuó con el paquete estadístico SAS (Versión 8.0, SAS Inc., NC, EE.UU.).

Análisis de los datos sensoriales

Para los datos del análisis sensorial descriptivo se realizó un ANOVA ($\alpha \leq 0.05$) con un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo en parcelas divididas, donde la parcela mayor fueron los tratamientos de yogur, la parcela menor los panelistas, las repeticiones fueron consideradas como los bloques. La interacción panelista tratamiento fue evaluada. Se usó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) para las comparaciones de medias. El análisis de los datos se efectuó con el paquete estadístico SAS (Versión 8.0, SAS Inc., NC, EE.UU.).

Para los datos del análisis sensorial de aceptación se realizó un ANOVA ($\alpha \leq 0.05$) con un diseño de bloques completamente al azar, donde los yogures fueron considerados como los tratamientos y cada panelista fue considerado como un bloque. Se usó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) para las comparaciones de medias. El análisis de los datos se efectuó con el paquete estadístico SAS (Versión 8.0, SAS Inc., NC, EE.UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico proximal

En el cuadro 2 se presentan los resultados del análisis químico proximal de los tratamientos de yogur adicionados con proteína aislada de soja en ella se muestra que los contenidos de grasa se mantuvieron constantes durante el proceso de elaboración y en el almacenamiento de todos los tratamientos.

El contenido de proteína de los tratamientos con adición de proteína aislada de soja de los tratamientos Y_{2,1.5}, Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5} son más altos en relación a los controles Y_{50G} y Y_{100G}, siendo el tratamiento Y_{4,1.5} el de mayor contenido de proteína, seguido de Y_{2,1.5} y Y_{3,1.5}, respectivamente. La adición de proteína aislada de soja incrementa la proteína total de los yogures

El contenido de humedad, de los tratamientos Y_{50G} y Y_{100G} presentaron contenidos de humedad similares, en cuanto a los tratamientos Y_{2,1.5} y Y_{3,1.5}, no presentaron diferencia significativa entre si, pero en comparación con el resto de los tratamientos fueron significativamente diferentes, por otra parte el tratamiento Y_{4,1.5} fue el que presentó el contenido de humedad mayor, lo anterior se debe principalmente a que este tratamiento presenta el mayor contenido de proteína, las cuales se unen por interacciones proteína-proteína formando una red que atrapa las moléculas de agua, por lo que a mayor contenido de proteína, la red formada atrapa un mayor número de moléculas, por lo que se retiene mayor humedad.

Cuadro 2. Medias del análisis químico proximal de los tratamientos de yogur

Tratamiento	Grasa (%)	Proteína (%)	Humedad (%)
Y _{50G}	1.53b	3.76d	79.06c
Y _{100G}	2.96a	3.70d	80.35b
Y _{2,1.5}	1.50b	5.70c	81.28b
Y _{3,1.5}	1.53b	6.62b	83.15a
Y _{4,1.5}	1.50b	7.59a	83.52a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las medias de las muestras

Sinéresis

Los porcentajes de sinéresis de los tratamientos se muestran en la figura 1, donde se observa un aumento de la sinéresis en todos los tratamientos con el tiempo de almacenamiento, observando que a los 5 días de almacenamiento el yogur control Y_{100G} muestra el porcentaje de sinéresis más alto en comparación con los otros tratamientos, pero a los 12 días el yogur control Y_{50G} es el que presenta mayor porcentaje de sinéresis; con el mismo tiempo de almacenamiento se observa que los tratamientos con adición de soya son menores significativamente que el completo en grasa, siendo el tratamiento $Y_{4,1.5}$ el de menor sinéresis seguido de $Y_{3,1.5}$ y $Y_{2,1.5}$, respectivamente, este comportamiento se mantiene a los 19 y 26 días de almacenamiento.

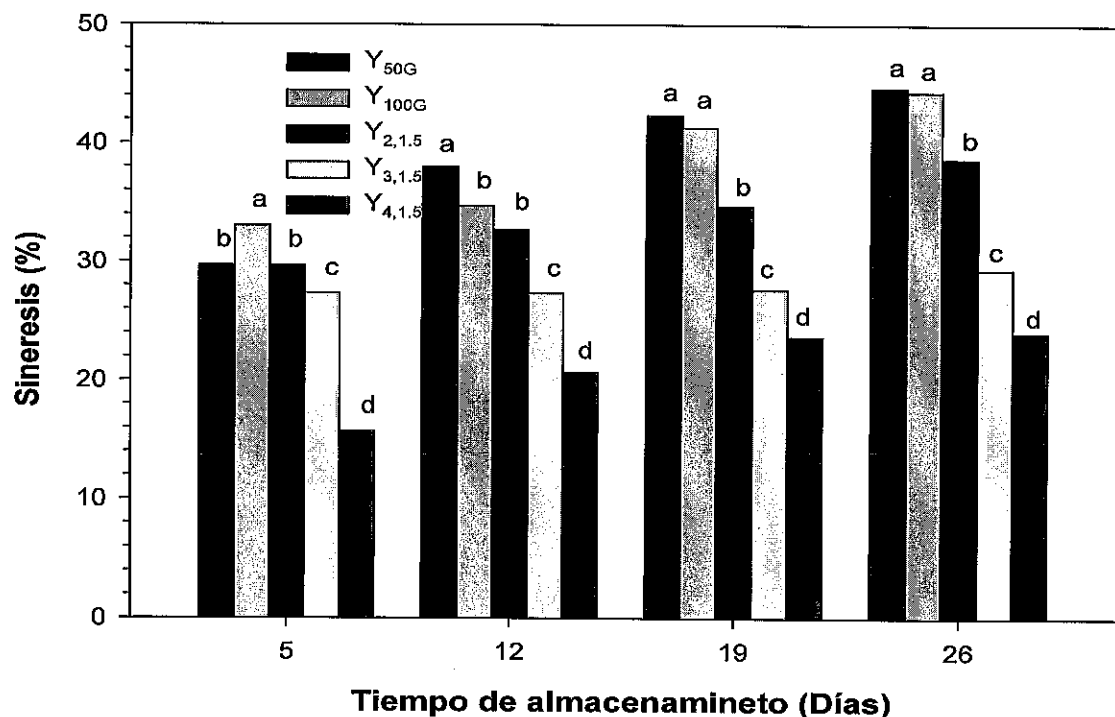


Figura 1. Porcentaje de sinéresis de los yogures en función del tiempo de almacenamiento. Letras distintas significan diferencia Significativa ($p < 0.05$).

Los bajos porcentajes de sinéresis en los tratamientos con adición de proteína aislada de soya puede atribuirse al alto contenido de proteína, así mismo el aumento de sólidos, lo cual concuerda con lo encontrado por Mageniz *et al.* (2006) y Molder *et al.* (1983),

quienes por adición de diferentes concentraciones de proteínas lácticas, observaron la disminución del índice de sinéresis, la cual podría estar relacionada con la alta concentración de proteína en el yogur, lo que puede ocasionar un aumento en la retención de agua por la matriz proteica. Al adicionar proteína de soya en el yogur se presenta un incremento en las interacciones proteína-proteína de soya y cuando el pH es cercano al punto isoelectrico se dan interacciones proteína-agua, incrementando el poder de hidratación, y por lo que disminuye la pérdida de agua.

La influencia de las proteínas lácticas, y de las proteínas aisladas de soya, al ser adicionadas a la leche del yogur, ayudan a que los porcentajes de sinéresis disminuyan debido a las propiedades funcionales de estas, a la vez también por el aumento de sólidos; lo anterior coincide con lo encontrado por Amatayakul *et al.* (2006), en donde los niveles de sinéresis disminuyeron significativamente en yogures elaborados con 14% de sólidos. También Jaros *et al.* (2002) y Harwalkar y Kalab (1986), observaron una reducción en la separación de suero en yogures asentados cuando el total de sólidos fue incrementado. Modler *et al.* (1983) encontraron en su investigación, que la sinéresis disminuye con el aumento de la concentración de proteína, debido en parte a que la proteína del suero contiene enlaces disulfuro intramoleculares que estabilizan su estructura. La β -Lactoglobulina contiene un grupo disulfuro que llega a ser activa por la desnaturalización de proteínas debido al calor y esto puede formar interacciones sulfidrilo-disulfuro con esta misma y otras proteínas.

pH y Acidez titulable.

El comportamiento del pH de los tratamientos durante el periodo de almacenamiento, fue similar en todos los casos, disminuye drásticamente de 5 a 12 días. Los valores de pH de los tratamientos oscilaron entre 4.48 y 4.71 a los 5 días de almacenamiento (Figura 2), existió diferencia significativa entre los yogures controles, siendo el Y_{50G} el de menor pH seguido de Y_{100G}, ambos fueron diferentes de los tratamientos adicionados con proteína aislada de soya, conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, se

observaron diferencias en el pH del yogur adicionado con proteína aislada de soya y los controles.

A los 5 días de almacenamiento Y_{100G} presenta un pH menor (4.3) que los demás yogures, mientras que Y_{50G} presentó un pH de 4.5; los tratamientos adicionados con proteína aislada de soya, tuvieron pH superior (4.75), mostrando diferencia significativa con los yogures controles; lo que puede estar asociado con un incremento en el contenido de proteína de soya.

Se observa que a los 12, 19 y 26 días los valores de pH mostraron similitud entre todos los yogures, y que la comparación de las medias de todos los tratamientos no mostró diferencia significativa. El uso de proteína aislada de soya como sustituto parcial de grasa no afecta significativamente los valores del pH ($p > 0.05$) en las ultima tres semanas de almacenamiento, lo anterior coincide con lo encontrado por Drake *et al.* (2000), donde señalan que los valore de pH no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y así mismos la fermentación no se ve afectada por la proteína de soya.

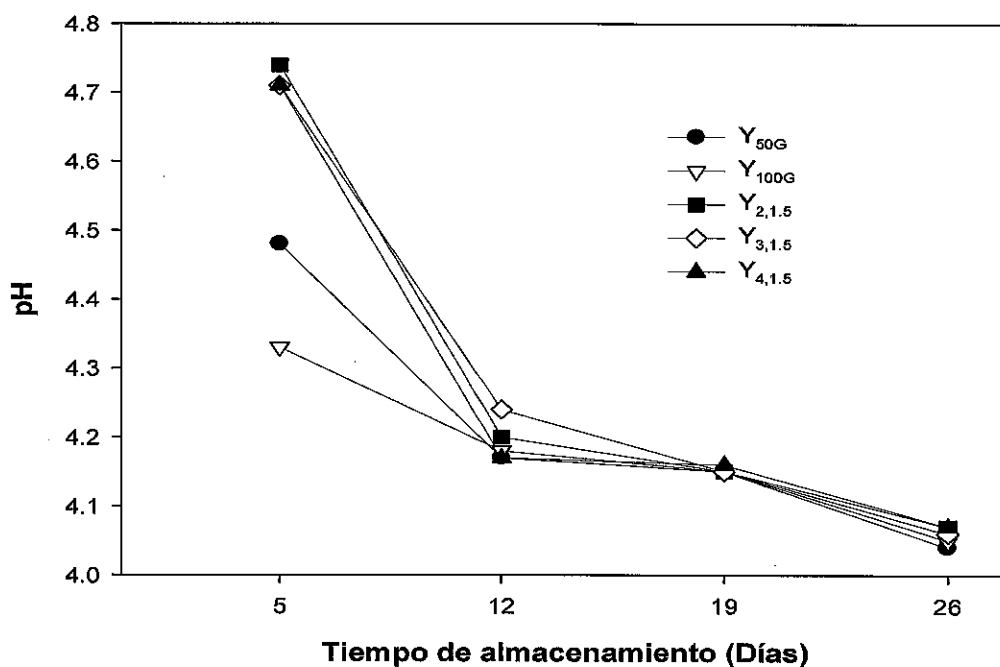


Figura 2. Cambios en las medias de pH de los tratamientos de yogur en relación con el tiempo de almacenamiento

En relación con la acidez titulable (Figura 3), se observó un comportamiento similar al del pH, mostrando valores acidez entre 0.903 y 0.99 a los 5 días de almacenamiento, mostrando diferencia significativa ($p < 0.05$) entre todos los tratamientos, siendo el Y_{50G} el de menor y $Y_{4,1.5}$ de de mayor acidez, respectivamente; para las ultimas tres semanas de almacenamiento, los tratamientos no mostraron diferencia significativa ($p > 0.05$), siguiendo una tendencia de aumento en el porcentaje de acidez titulable con respecto al tiempo de almacenamiento, los valores de acidez cambiaron en un intervalo de 0.9 a 1.5 durante todo el periodo de almacenamiento.

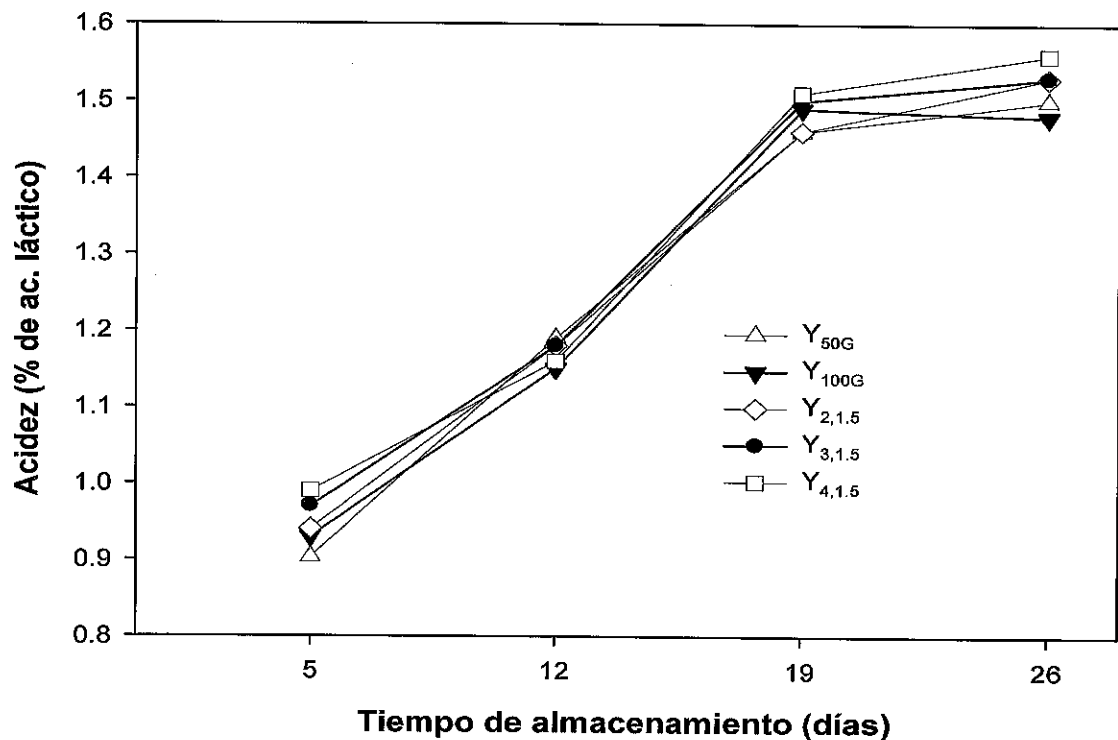


Figura 3. Cambio en las medias de la acidez titulable (%) con respecto al tiempo de almacenamiento

Los resultados obtenidos coinciden con lo encontrado por Drake *et al.* (2000) en donde indican que la acidez no se ve afectada por la proteína de soya y que la fermentación durante el periodo de almacenamiento tiene un incremento, por lo tanto la actividad de los cultivos lácticos no presenta cambios negativos en presencia de la proteína aislada de soya.

Propiedades reológicas

Pruebas oscilatorias de baja intensidad

Los barridos de frecuencia se realizaron a los 5, 12 y 19 días después de elaborados todos los tratamientos de yogur, esto con el objetivo de observar el comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y del modulo de pérdida (G'') en función de la frecuencia para realizar una comparación entre los yogures controles y los yogures con adición de soya.

La figura 4 muestra el comportamiento de G' y G'' a los 5 días de almacenamiento, donde se observa que G' y G'' para cada uno de los tratamientos son distintos, sin encontrar semejanzas entre si, lo cual significa que cada tratamiento tiene un comportamiento reológico único en función de la frecuencia aplicada. Los valores de G' fueron mayores a los de G'' por lo que los tratamientos exhibieron comportamiento predominantemente sólido en todo el rango de frecuencia aplicado.

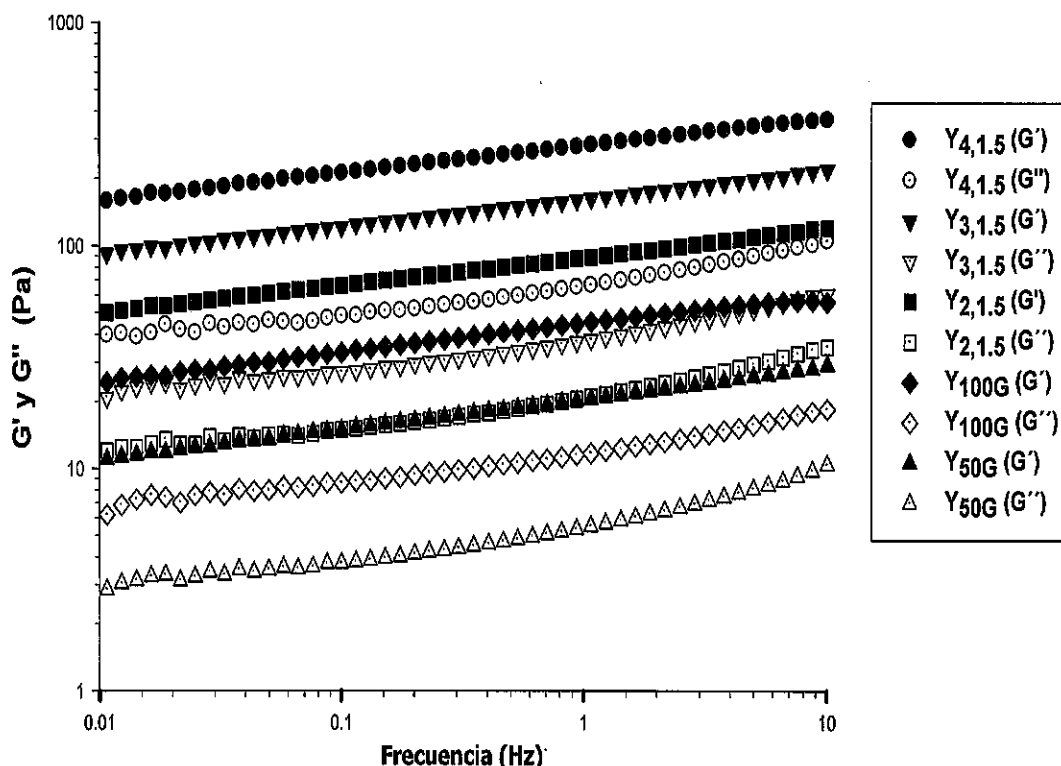


Figura 4. Comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los tratamientos a los 5 días de almacenamiento.

En la figura 4, puede observarse que el yogur con 4% de proteína de soya es el que presenta los valores de G' y G'' más altos en comparación con los demás tratamientos, en donde G' fue mayor que G'' por lo que su comportamiento fue predominantemente sólido para todos los tratamientos, por otra parte el control con 1.5% de grasa presentó los valores de G' y G'' más bajos en comparación con el resto de los tratamientos, siendo $G' > G''$ mostrando también un comportamiento predominantemente sólido. Lo anterior indica que los tratamientos tuvieron un comportamiento viscoelástico característico de los geles.

Los valores altos de G' y G'' para el tratamiento con 4% de soya indican que la estructura es más elástica en comparación con los demás tratamientos, debido a que este tiene un alto contenido de sólidos totales, siendo en mayor proporción las proteínas de la leche y la proteína asilada de soya por lo que existe un aumento en el número y las fuerzas de enlaces entre las proteínas de caseínas y proteínas de la soya, las cuales hacen un reforzamiento del gel provocando un comportamiento más elástico a la deformación y obteniéndose así valores de G' y G'' mayores en el tratamiento con 4% de soya en comparación con el resto (Lee *et al.* 2006). Por lo contrario, con lo ocurrido con el control con 1.5% de grasa, en donde el contenido de sólidos totales es menor y que además existe una reducción en la cantidad de la grasa de la leche, esto tiene como consecuencia, que debido al bajo contenido de proteínas, el número y tipo de fuerzas de los enlaces entre las proteínas que forman la red del gel es menor y los glóbulos de grasa atrapados por la red de caseínas sean pocos, evitando el reforzamiento de la red (Juma *et al.* 2001), por lo que obteniendo un comportamiento elástico más débil, obteniéndose valores de G' y G'' más bajos en este control en comparación con los demás tratamientos.

El comportamiento de G' y G'' para el tratamiento con 4% de soya y el control con 1.5% de grasa, concuerda con lo estudiado por Ozer *et al.* (1999) quienes evaluaron diferentes concentraciones de proteína (3, 5, 7 y 9%) en la elaboración de un yogur concentrado, establecieron que conforme aumentaba la concentración de proteína, los valores de G' y G'' aumentaban y que con 9% de proteína en el yogur, la zona

viscoelástica lineal se prolongaba mas en comparación con el resto de los tratamientos y que a menor concentración de proteína los valores de los módulos (G' y G'') son menores. De esto concluyeron que G' y G'' están estrechamente relacionados con la distribución espacial y el número de enlaces proteína-proteína, debido a que a mayor concentración de proteínas existe un mayor numero de enlaces individuales que para ser debilitados necesitaron un aumento en la frecuencia y el tiempo, dando como resultado valores altos en los módulos de almacenamiento y de pérdida. Por otra parte Bremer *et al.* (1990) propusieron que el número total de cadenas de caseínas por unidad de volumen es un factor importante para la fuerza del gel del yogur y que la naturaleza y posición de dichas cadenas en la red también determina las propiedades reológicas del gel.

En la figura 5 se muestra que el yogur control con 3% de grasa presenta valores menores de G' y G'' en comparación con el yogur con 2% de soya, pero siendo este tratamiento el que tiene los valores mas cercanos a los del control completo en grasa, por lo que una sustitución de grasa con 2% de soya en un yogur bajo en grasa puede presentar las propiedades reológicas similares al yogur completo en grasa. Por otra parte se observa que los tratamientos con adición de soya tienen los valores mas altos de G' y G'' que los tratamientos completo en grasa y bajo en grasa, por lo que el reforzamiento del gel de yogur fue debido a la sustitución de la grasa por las proteínas las cuales formaron interacciones proteína-proteína de caseínas y de proteínas de soya, reteniendo glóbulos de agua y de grasa, haciendo que estos geles fueran mas fuertes a la deformación presentado parámetros reológicos superiores a los yogures control.

Durante el tiempo de almacenamiento (figura 4, 5 y 6) hubo un ligero incremento en lo valores G' y G'' de todos los yogures. Roefs (1990) demostró que para geles ácidos, los valores de G' puede continuar incrementándose por algunos días, debido posiblemente a que se lleva un lento arreglo o fusión de las partículas de las caseínas. Las variaciones conservaron las tendencias generales en el comportamiento viscoelástico de las bebidas, esto es que el yogur con 4% de soya mostró los valores mas altos seguidos de los de 3 y

2%, siendo el control con 1.5% de grasa el más bajo, seguido del control con 3% de grasa.

En la figura 5 se muestra que a los 12 días de almacenamiento G' y G'' de los tratamientos con 3 y 4% de proteína aislada de soja, tienden a ser parecidos, ya que se observa que la diferencia entre ambos disminuye haciendo que estos tratamientos se distinguan como los tratamientos con los valores de G' y G'' más altos.

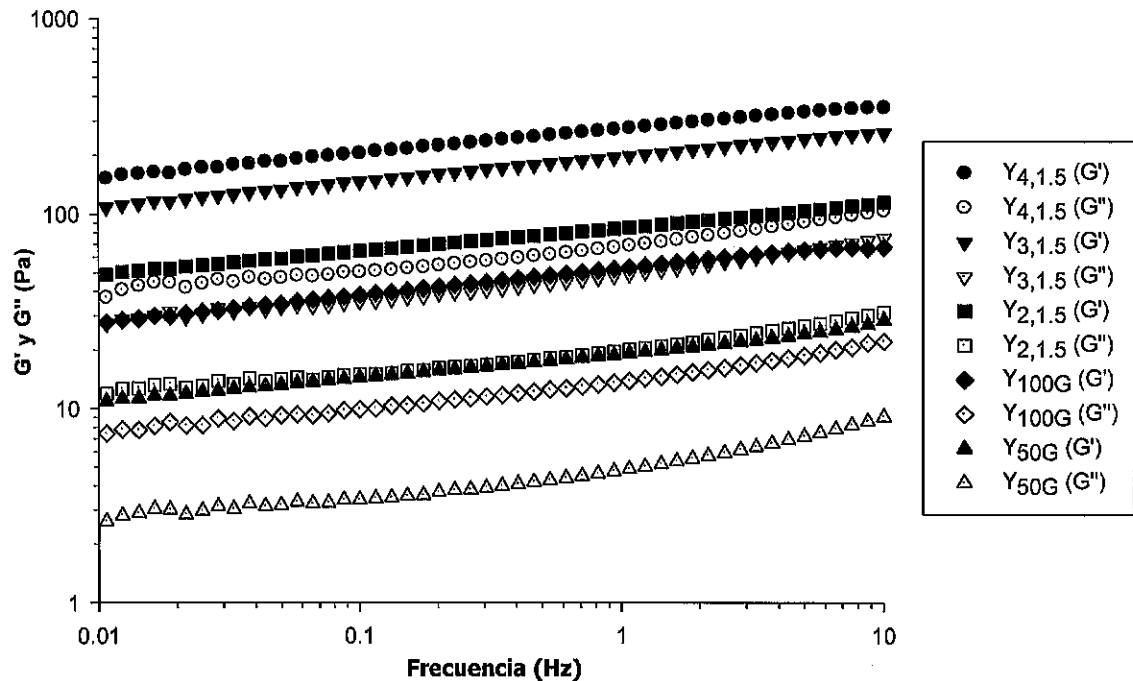


Figura 5. Comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los tratamientos a los 12 días de almacenamiento

Por otra parte el tratamiento con 2% de soja y el control con 3% de grasa presentan similitudes entre sus valores, ya que G' y G'' (figura 5) para dichos tratamientos se encuentran muy cercanas entre ellas, indicando que el tratamiento con 2% de soja tiende a ser más parecido al control completo en grasa (3% de grasa), siendo los valores del control con 2% de soja ligeramente mayor que el yogur control completo en grasa. Esta similitud indica que el uso de 2% de soja como sustituto parcial de grasa puede emular las propiedades mecánicas y reológicas de un producto completo en grasa, que en este caso es comparativo con el control con 3% de grasa. Estas propiedades pueden deberse a

los cambios de su estructura resultado del tratamiento térmico con el cual se aumenta la viscosidad y gelificación (Puppo y Añon, 1999).

Por otra parte el control con 1.5% de grasa presenta los valores mas bajos de G' y G'' (figura 5) entre todos los tratamientos debido a que el contenido de grasa es bajo por lo que se presenta un gel débil, esto a causa de que entre la red de caseínas existen pocos glóbulos de grasa que ayuden a reforzarla.

Analizando el comportamiento de los tratamientos a los 19 días (figura 6) encontramos la misma tendencia que a los 12 días de almacenamiento, donde los tratamientos con 3 y 4% de proteína aislada de soya muestran valores de G' y G'' mas altos que el resto de los tratamientos pero parecidos entre si. En tanto el tratamiento con 2% de soya presentó de igual manera similitudes con el control completo en grasa (3% de grasa) observándose que la diferencia entre sus valores de G' y G'' son menores que a los 12 días, por lo que el tiempo transcurrido hizo que se asemejaran más las propiedades reológicas entre estos tratamientos. Por otra parte el control con 1.5% de grasa siguió siendo el que tuvo los valores más bajos entre todos los tratamientos.

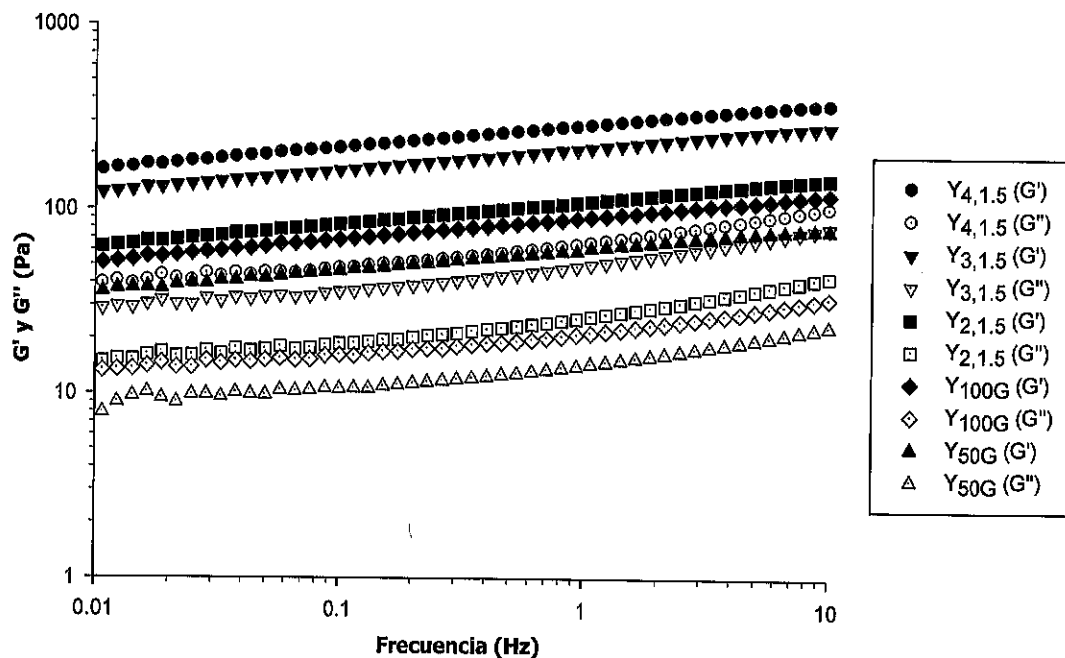


Figura 6. Comportamiento de los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') de los tratamientos a los 19 días de almacenamiento

Las características reológicas que presentaron los tratamientos a los cuales se le adiciono proteína asilada de soya como sustituto de grasa se deben al alto contenido de sólidos que en su mayor parte son proteínas de la leche y de soya. Las proteínas de la leche como son las caseínas y las proteínas principales del suero de la leche como la β -lactoglobulinas interacción químicamente con el calentamiento. Lo cual incrementa la concentración de proteínas para la formación del gel de proteína en la matriz del yogur y por otra parte también la asociación de α -lactoalbúmina con partículas de caseínas parece ser importante para la fusión e hidratación de micelas durante la subsecuente fermentación, lo cual afecta las propiedades reológicas de yogur (Keogh y O’Kennedy, 1998). Las proteínas aisladas de soya tienen una fuerte gelificación durante el calentamiento y una excelente capacidad de retención de agua. La gelación de las proteínas es una asociación o enlaces cruzados de moléculas de proteínas para formar una red continua tridimensional que retiene e inmoviliza agua para formar una estructura rígida resistente al flujo bajo presión (Ahmed *et al.* 2006).

Curvas de flujo

El comportamiento al flujo para yogures es de importancia en la definición y calificación de la calidad del producto. Por lo general, se sabe que el yogur exhibe un efecto irreversible dependiente del tiempo o “tiroxopia irreversible” (Ramaswamy y Basak, 1991; Benezech y Maingonnat, 1994). de Lorenzi *et al.* (1995) definieron al yogur como un material con propiedades de un fluido no Newtoniano y con tiroxopia y viscoelasticidad fuertemente dependientes del tiempo. Di Cagno *et al.* (2004) encontraron un comportamiento pseudoplástico en leches fermentadas elaboradas a partir de leche de yegua.

La viscosidad fue evaluada en función de la tasa de corte. La representación de las graficas de viscosidad aparente vs. tasa de corte se muestra en las figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12. En las curvas de viscosidad aparente vs. tasa de corte puede observarse esfuerzos de fluencia; esto es, valores mínimos de esfuerzo cortante que debieron ser rebasados antes de que sus estructuras sólidas comenzaran a mostrar un comportamiento liquido.

Los datos viscosidad vs. tasa de corte de los yogures estudiados, se ajustaron a varios modelos reológicos (Casson, Carreau, Ostwald de Waele y Herschel-Bulkley), encontrando que el modelo que mejor se ajustaba a las curvas de flujo fue el de Herschel-Bulkley ($R^2= 0.98$) en el rango de tasa de corte estudiado que fue de 0.1 a 100s^{-1} . Además de su buen ajuste, el modelo de Herschel-Bulkley el cual maneja términos de punto de fluidez, fue seleccionado para describir el comportamiento de flujo de yogures, porque estos son conocidos por presentar esfuerzos de fluidez (Ramaswamy y Basak, 1991). El modelo de Herschel-Bulkley esta descrito por:

$$\sigma = \sigma_0 + K(\dot{\gamma})^n$$

Donde σ = esfuerzo cortante, σ_0 = esfuerzo de fluencia, K = índice de consistencia, $\dot{\gamma}$ = tasa de corte, n = índice de comportamiento del fluido; (Lee and Lucey, 2006).

En el cuadro 3 se presentan los valores de las constantes obtenidas del modelo de Herschel-Bulkley de los yogures a los 5, 12 y 19 días de almacenamiento. Los valores de n en todos los yogures fueron menores a la unidad ($n < 1$), esto indica que los yogures durante el tiempo de almacenamiento se comportaron como un material pseudoplástico, de este modo se confirma un comportamiento como un fluido no newtoniano ya que los fluidos no newtonianos independientes del tiempo son aquellos en que a una temperatura constante, su viscosidad depende únicamente de la magnitud del esfuerzo de corte o del gradiente de deformación.

Cuadro 3. Parámetros reológicos del modelo de Herschel-Bulkley

Tratamiento	Día 5			Día 12			Día 19		
	K	n	σ_0	K	n	σ_0	K	n	σ_0
Y _{50G}	3.063c	0.417b	1.912e	1.698c	0.670a	3.045e	2.895e	0.558a,b	9.160e
Y _{100G}	2.670c	0.568a	4.735d	3.613b	0.556b	9.169d	4.042d	0.628a	12.421d
Y _{2,1.5}	2.181c	0.631a	9.765c	4.381b	0.524b	14.133c	10.143c	0.228d	19.600c
Y _{3,1.5}	11.567b	0.402b	17.001b	9.785 ^a	0.493b,c	27.735b	18.839b	0.325c	48.547b
Y _{4,1.5}	19.357a	0.333b	25.125a	10.980 ^a	0.449c	40.275a	20.544a	0.490b	65.077a

Medias con letras distintas en la misma columna son significativamente diferente ($\alpha < 0.05$).

Las modificaciones en la composición estructural de los yogures al adicionarles proteína aislada de soya y disminuir el contenido de grasa provoca variaciones en los valores de los parámetros reológicos durante el almacenamiento. El tratamiento Y_{50G} mostró aumento en los valores de σ_0 con el tiempo de almacenamiento, los valores de K disminuyeron en el día 12 y aumentaron en el día 19, caso contrario con los valores de n que aumentaron en el día 12 y disminuyeron para el día 19 siendo valores menores a la unidad presentando pseudoplasticidad, indicando que este tratamiento mostró una estructura muy débil ya que los valores de los esfuerzos cortantes necesarios para hacer fluir la muestra fueron bajos en comparación con el resto de los tratamientos, este comportamiento se debió en parte al proceso de acidificación del yogur en que durante los primeros 12 días se dio una formación de la red de caseínas atrapando agua y glóbulos de grasa al bajar el pH hasta el punto isoelectrico, lo que confirió un aumento de firmeza, pero al llegar al día 19 la formación de la red de caseínas se debilitó por la desmineralización y por el bajo contenido de glóbulos de grasa, además del proceso de sinéresis, el cual afectó la rigidez de la red. En este tratamiento se observa que las propiedades reológicas fueron afectadas por el bajo contenido de grasa, la cual es parte importante en el reforzamiento de la red de proteína, ya que las proteínas se adsorben a la superficie de los glóbulos de grasa atrapándolos al formar la red tridimensional durante la agregación de las caseínas

Los valores de los parámetros reológicos de Y_{100G} , mostraron una variación con el tiempo de almacenamiento, el valor de σ_0 aumento con el tiempo de almacenamiento, alcanzando el máximo valor a los 19 días de almacenamiento, los valores de K aumentaron con el tiempo de almacenamiento y los de n disminuyeron del día 5 al 12, aumentando en el día 19 manteniendo el comportamiento pseudoplástico ($n < 1$). Los parámetros de $Y_{2,1.5}$ presentaron la misma tendencia que los de Y_{100G} , ya que los valores de las medias de K y n para $Y_{2,1.5}$ en el día 5 y 12 fueron estadísticamente iguales que los de Y_{100G} , pero para el día 19 el valor de K fue mayor en $Y_{2,1.5}$ presentando una mayor pseudoplasticidad que Y_{100G} . Por otra parte los valores de σ_0 para $Y_{2,1.5}$ fueron más altos que Y_{100G} , los cuales aumentaron con el tiempo de almacenamiento, indicando que $Y_{2,1.5}$ requirió una fuerza inicial mayor para comenzar a fluir debido a que su estructura fue

más rígida, causada por el reforzamiento de las proteínas de soya contenidas en este tratamiento. En este caso se puede observar una analogía entre el tratamiento completo en grasa (Y_{100G}) y el tratamiento con 2% de adición de soya en los parámetros reológicos durante los primeros 12 días, lo cual puede señalar que la respuesta de estos dos tratamientos a la deformación es parecida. Los valores de los parámetros reológicos de estos dos tratamientos señalan que la proteína de soya en $Y_{2,1.5}$ a un nivel de 2% confiere propiedades reológicas similares en Y_{100G} , ya que se aumenta el contenido sólidos totales y además las proteínas de soya forman interacciones al cambiar su forma nativa con el tratamiento térmico, y estas interacciones refuerzan la red de proteínas del yogur al retener más agua y glóbulos de grasa, disminuyendo el porcentaje de sinéresis y conservando las propiedades reológicas que se pierden al disminuir el contenido de grasa, semejando las características de un yogur completo en grasa. Los valores de los parámetros σ_0 , K y n para Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ obtenidos a los 19 días de almacenamiento se encuentran dentro del rango de valores encontrado por Ramaswamy y Basak (1991) quienes determinaron las propiedades reológicas de dos yogures batidos comerciales ajustando al modelo de Herschel-Bulkley.

El $Y_{3,1.5}$ mostró variaciones en los valores de los parámetros reológicos (tabla 3), el valor de σ_0 aumento durante todo el tiempo de almacenamiento indicando que conforme pasa el tiempo la consistencia de este material aumentaba ya que el valor del esfuerzo para hacer fluir este material aumentaba con el paso del tiempo. El valor de K disminuyó del día 5 al día 12, aumentando en el día 19, para el caso de los valores de n , estos aumentaron del día 5 al día 12 y disminuyendo en el día 19. El mayor carácter pseudoplástico para este tratamiento se encontró en el día 19, en donde el valor de K fue el máximo durante todo el periodo de almacenamiento. Los valores de σ_0 y K de $Y_{4,1.5}$ fueron los más altos durante todo el periodo de almacenamiento, mostrando una mayor pseudoplasticidad en comparación con el resto de los tratamientos, por otra parte los valores de n para este tratamiento tendieron a disminuir durante el almacenamiento, siendo los más bajos de todos los tratamientos. Los valores altos de σ_0 muestran que se necesitaron esfuerzos cortantes altos para que la muestra comenzara a fluir durante todo el tiempo de prueba, indicando que en este tratamiento presentó una estructura más

fuerte debido al reforzamiento de las interacciones de las entre las caseínas y las proteínas de soya.

La pseudoplasticidad de los yogures indica que la viscosidad disminuye, cuando el gradiente de deformación aumenta, lo que significa que los valores de la viscosidad aparente son dependientes de la tasa de corte, lo cual se puede observar en las figuras 7, 8 y 9. Donde se muestran los cambios de la viscosidad aparente (η_{app}) de los tratamientos cuando se sometieron a un incremento en la tasa de corte. Para todos los tratamientos, los valores de viscosidad disminuyeron conforme la tasa de corte aplicada iba en aumento de 0.1 a 100s^{-1} , con lo que se muestra un comportamiento adelgazante al corte, este comportamiento también fue encontrado por Lee y Lucey (2006) en su trabajo, donde describen las curvas de flujo de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte para geles de yogures con diferentes condiciones de gelificación. Los valores de η_{app} de los yogures con adición de soya fueron más altos que controles, mostrando que conforme el contenido de soya aumentaba, también el valor η_{app} aumentaba observándose también que con el tiempo de almacenamiento este valor incremento. Se observa que dentro de una región de tasa de corte muy pequeña (0.1 a 0.115 s^{-1}) existe un aumento de la η_{app} cuando los valores de la tasa de corte aumentan antes de llegar al valor máximo de la η_{app} , este comportamiento en la viscosidad fue observado por Afonso y Maia (2000); y por Lee and Lucey (2006).

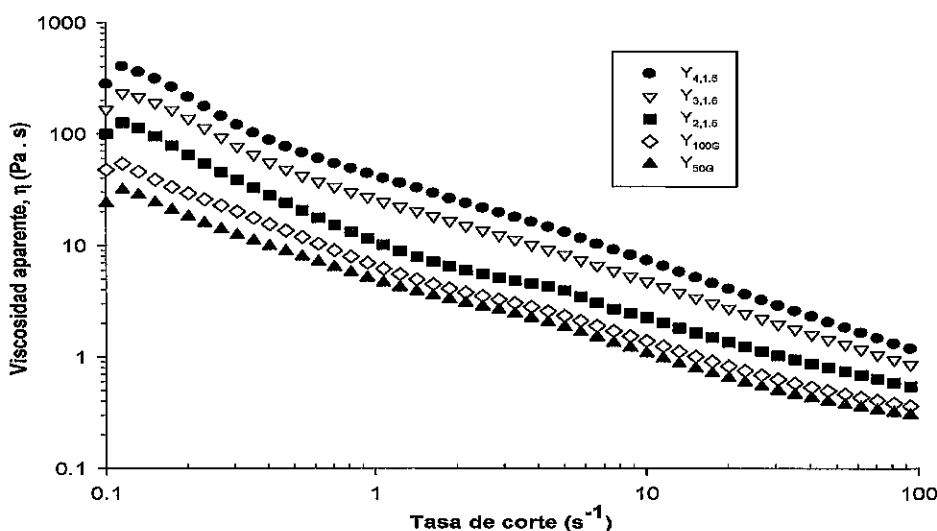


Figura 7. Comportamiento de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte a los 5 días de almacenamiento.

La tendencia del aumento de la viscosidad en una región con valores de tasa de corte bajos hasta llegar a un valor máximo es conocido como el punto de ruptura estructural (Lee y Lucey, 2006), ya que después de este punto los valores en η_{app} comienzan a disminuir cuando la tasa de corte aumenta. El aumento inicial de los valores de η_{app} puede deberse al corto tiempo de medición o también a la naturaleza viscoelástica del gel y la resistencia inicial de los enlaces físicos, electrostáticos e interacciones hidrofóbicas presentes en el gel, que posteriormente tienden a deshacerse con el aumento de la tasa de corte.

Los valores de η_{app} para los tratamientos con adición de soya son mayores en comparación con los testigos, siendo Y_{4,1.5} el que presentó los valores más altos en todo el periodo de almacenamiento. Los yogures Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5} presentaron semejanza en los valores de viscosidad aparente a los 12 y 19 días de almacenamiento (figuras 8 y 9), observando en el último periodo de almacenamiento un traslape de las gráficas correspondientes a estos tratamientos. Los valores altos en η_{app} de estos tratamientos es debido a que la estructura de los geles fue más resistente a bajas tasas de corte, requiriéndose incrementos en esta para que se lograra la ruptura de enlaces entre proteínas para que comenzara a fluir para después observar una caída pronunciada en sus valores al incrementarse la tasa de corte. La resistencia de la estructura a la tasa de corte, es debido al alto contenido de proteína, ya que según Abu-Jdayil, (2003) en parte determina la viscosidad del yogurt, esto fue observado al encontrar valores altos en viscosidad en yogures del tipo labneh, con alto contenido de proteína, lo cual también concuerda con el trabajo de Magenis *et al.* (2006) quien encontró que los yogures con alto contenido de proteína presentaban viscosidades elevadas.

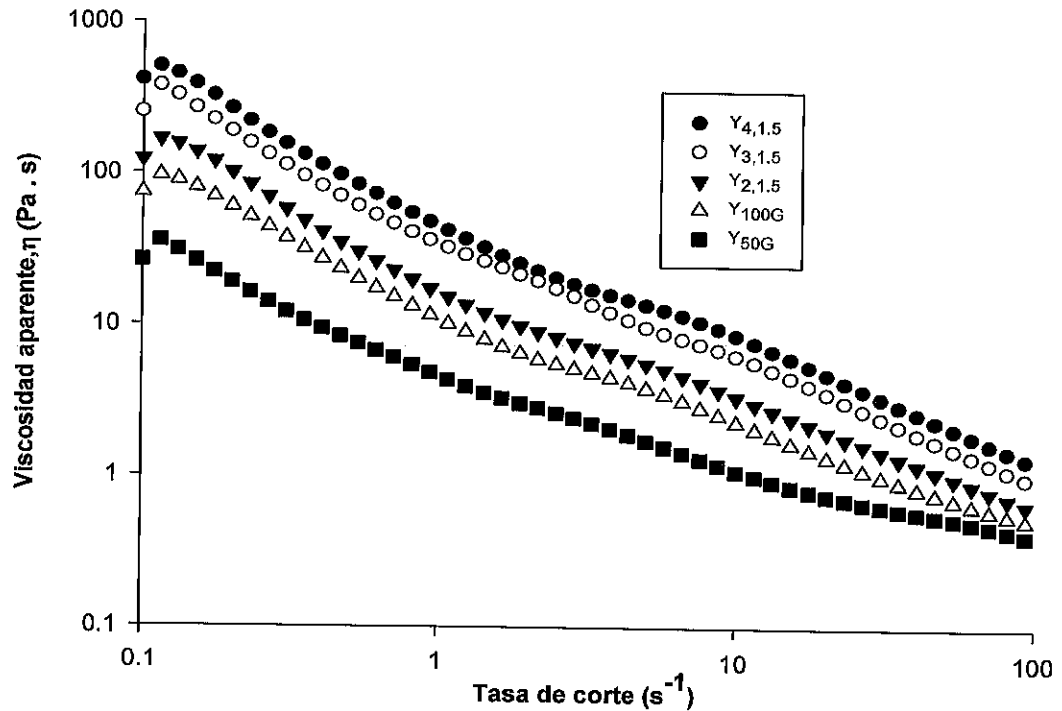


Figura 8. Comportamiento de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte a los 12 días de almacenamiento.

La η_{app} para $Y_{2,1.5}$ y el yogur control completo en grasa (Y_{100G}) muestran valores similares a los 12 y 19 días de almacenamiento ya que las graficas correspondientes en estos tiempos de almacenamiento se encuentran muy cercanas, presentando poca diferencia. Esto puede indicar que la estructura del gel de $Y_{2,1.5}$ es semejante a las del yogur completo en grasa (Y_{100G}), ya que se necesitaron valores de tasa de corte parecidas para que las estos geles comenzaran a fluir. Se debe observar que la composición de la estructura de los geles en Y_{100G} difiere de la de $Y_{2,1.5}$. Para que la muestra de Y_{100G} comenzara a fluir se necesito la destrucción de enlaces físicos entre proteínas-proteínas, glóbulos de grasa –proteínas, enlaces electrostáticos e interacciones hidrofóbicas, presentes en la estructura de este gel. Para el caso de $Y_{2,1.5}$, se tuvieron que destruir en mayor parte interacciones entre caseínas e interacciones entre proteínas de soya, además de los enlaces electroestáticos. Sin embargo los valores de tasa de corte para ambas estructuras fueron semejantes, mostrando que la estructura del gel de Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ presentó una estructura igualmente resistente a la misa tasa de corte.

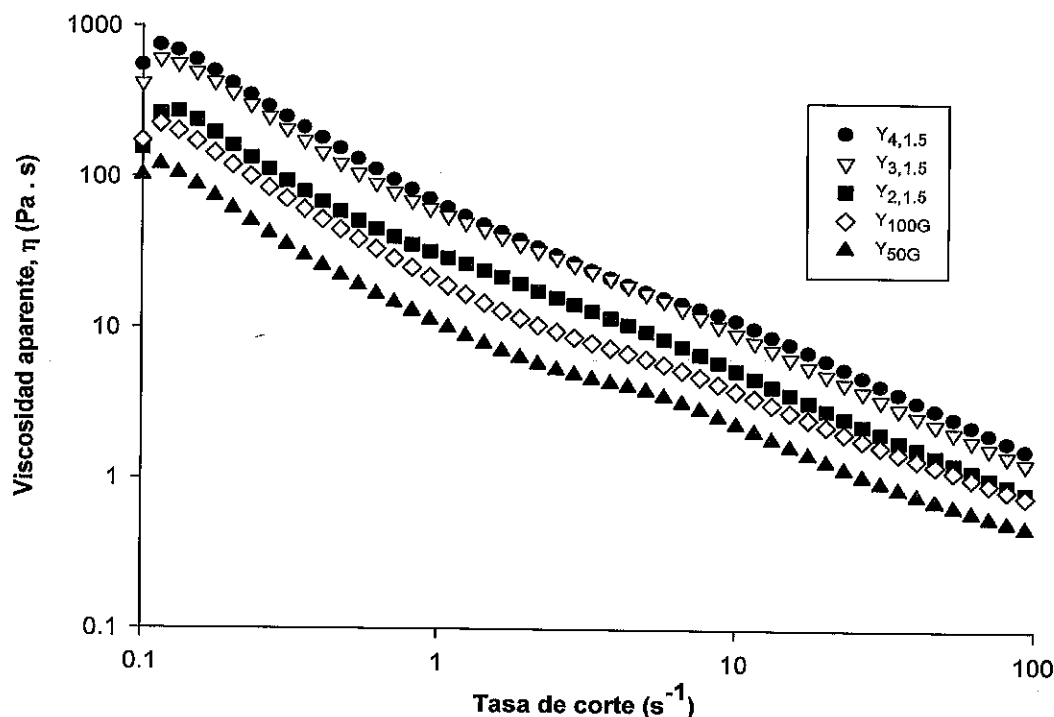


Figura 9. Comportamiento de la viscosidad aparente en función de la tasa de corte a los 19 días de almacenamiento

En el caso de Y_{50G} , mostró durante todo el periodo de almacenamiento una estructura débil, ya que los valores de η_{app} en función de la tasa de corte fueron los más bajos entre todos los tratamientos. La debilidad de su estructura es resultado del bajo contenido de grasa, por lo que resulta en un bajo contenido de interacciones proteína-glóbulos grasos, y por otra parte, a la baja capacidad de retención de agua. Sin embargo, los valores de la η_{app} en este tratamiento aumentaron conforme paso el tiempo de almacenamiento, lo cual se debió a la compactación de la red proteica debido a la insolubilización de las proteínas por la constante disminución del pH

Evaluación sensorial

Análisis Sensorial Descriptivo

En el cuadro 4 se muestran los atributos generados durante el análisis sensorial descriptivo que caracterizan a los diferentes tratamientos, así como la definición de cada uno de los descriptores, la referencia utilizada y el valor asignado.

Cuadro 4. Descriptores, definiciones y referencias utilizadas en el análisis sensorial descriptivo

Descriptor	Definición	Referencia	Valor en la escala
Color blanco	Apariencia visual del producto calificando del blanco al café, describiendo lo luminoso o lo oscuro.	Leche semidescremada marca San Marcos UHT	8
Consistencia	El tamaño o cantidad de yogur que cae des pues de introducir una cuchara y después sacarla	Yogur batido sabor natural con azúcar marca Yoplait	10
Aroma a yogur	Aroma asociado principalmente al acetaldehído	Yogur batido sabor natural sin azúcar marca Yoplait	10
Aroma a avena	Aroma detectado y asociado con la avena	Hojuelas de avena marca Quaker. (300g cocidos por 5 minutos en 1L de agua)	12
Aroma a soya	Aroma de la soya característico, detectado al oler la proteína de soya	Proteína aislada de soya proporcionada por la compañía Nutrer (100g disueltos en 1L)	8
Dulzura	Sabor básico estimulado por la sacarosa y otros azúcares	Solución de sacarosa al 10%	8
Sabor a soya	Sabor a cereal percibido en la boca la probar la referencia	Proteína aislada de soya proporcionada por la compañía Nutrer (100g disueltos en 1L)	13
Sensación arenosa	Percepción de finas partículas percibidas en la lengua la degustar la referencia	Proteína aislada de soya proporcionada por la compañía Nutrer (100g disueltos en 1L)	8
Astringencia	Sensación de sequedad percibido en la superficie de la lengua causado por sustancias como los taninos	Vino tinto marca Calafia 2005	15

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) de las magnitudes obtenidas de los atributos sensoriales evaluados en el análisis sensorial descriptivo (cuadro 5), obteniendo como resultado que el componente principal 1 (PC 1) explica el 98% de la variabilidad y que el componente principal 2 (PC2) explica el 2% de la variabilidad entre los tratamientos. De la suma acumulativa de la los dos componentes principales (100%) es posible inferir que los atributos sensoriales evaluados permitieron distinguir adecuadamente a los tratamientos de yogur. El componente principal 1 estuvo representado predominantemente por los atributos de consistencia, sabor a soya y

sensación arenosa. Por otra parte, el componente principal 2 fue correlacionado positivamente con la consistencia.

Cuadro 5. Peso de los atributos sensoriales con los dos componentes principales

Atributo	Primer componente	Segundo componente
Consistencia	0.4870	0.8050
Color blanco	-0.2830	-0.0355
Aroma a yogur	-0.3270	0.0377
Aroma a avena	0.1910	-0.2660
Aroma a soya	0.2290	-0.2340
Dulzura	-0.2590	0.1890
Sabor a soya	0.4480	-0.1050
Sensación arenosa	0.4050	-0.3040
Astringencia	0.2350	-0.2930

En la figura 10 se ubican a los yogures en el plano de los dos primeros componentes principales donde se obtuvo que la suma acumulativa de estos dos primeros componentes principales explican el 100% de la variabilidad de los datos, mostrando que el yogur Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ fueron percibidos por los jueces de manera similar ya que se encuentran muy cercanos entre sí, por lo que presentaron características sensoriales semejantes, que en comparación con el resto de los tratamientos los cuales se encuentran distribuidos entre los distintos cuadrantes de la gráfica, formando grupos independientes entre sí.

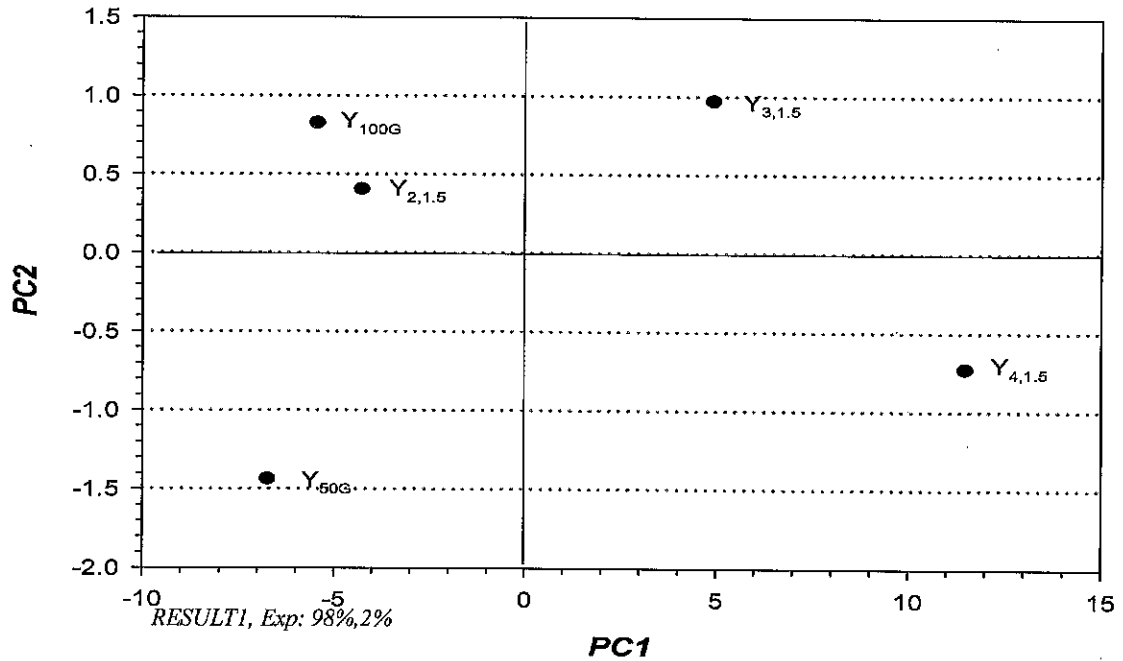


Figura 10. Diagrama de componentes principales de las características sensoriales de los tratamientos de yogur.

La figura 11 muestra la distribución de los atributos sensoriales en base a los dos componentes principales y las correlaciones existentes entre si, con lo que se puede definir los atributos que caracterizaron a cada uno de los tratamientos.

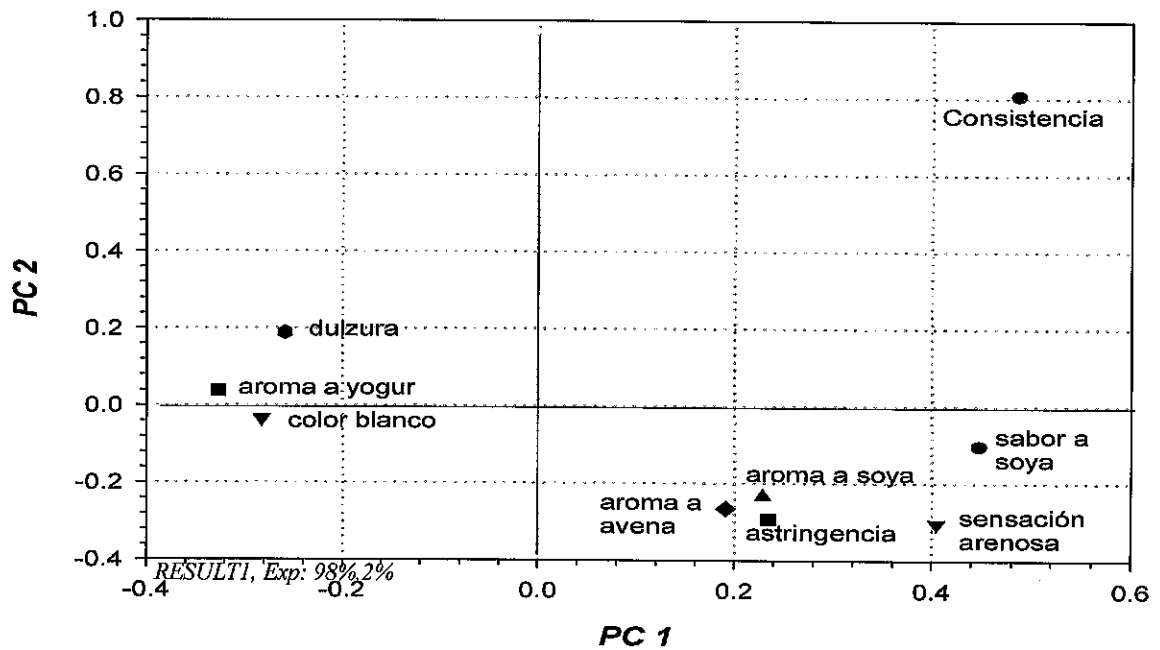


Figura 11. Cargas de correlación de los atributos sensoriales en el Análisis de Componentes Principales de los tratamientos de yogur

El tener la ubicación de los tratamientos (figura 10) y de los atributos sensoriales (figura 11) que los caracterizan en base de los dos componentes principales, muestra o señala los atributos que pueden caracterizar a cada tratamiento, en este caso Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ son igualmente caracterizados por los atributos de dulzura y aroma a yogur, siendo estos atributos los que los diferencian del resto. Por otra parte, el tratamiento $Y_{4,1.5}$ es caracterizado por que resaltan los atributos de sabor a soya, aroma a soya, aroma a avena, astringencia y sensación arenosa y Y_{50G} se caracteriza por tener el mayor color blanco

El análisis de varianza realizado con las calificaciones obtenidas de cada atributo mostró que al menos uno de los tratamientos era estadísticamente diferente en los atributos de consistencia, color, aroma a yogur, aroma a soya, y dulzura sin que se presentara una interacción entre panelista-tratamiento. En los atributos de aroma avena, sabor a soya, sensación arenosa y astringencia también se encontró que al menos uno de los tratamientos era estadísticamente diferente pero existió interacción panelista-tratamiento, siendo esta una interacción de magnitud, por lo que los panelistas no evaluaron de forma similar este atributo.

La comparación de la medias realizada de los cada uno de los atributos evaluados en los tratamientos se muestra en la cuadro 6, en donde se observa que la consistencia, aroma a avena, aroma a soya, sabor a soya, sensación arenosa y astringencia, incrementaron con la adición de proteína aislada de soya siendo $Y_{4,1.5}$ el que presento los valores más altos en estos atributos, mientras que el color blanco, aroma a yogur y dulzura decrecieron, en este caso $Y_{4,1.5}$ tuvo los valores mas bajos en estos atributos, por lo que, claramente se puede observar que la adición de proteína de soya afecta los atributos sensoriales del yogur en porcentajes relativamente altos, ya que en porcentajes bajos (2%), pueden obtenerse atributos sensoriales similares a los de un yogur completo en grasa; estos resultados coinciden con lo reportado por Drake *et al.* (2003) quienes sustituyeron la leche descremada en polvo por la proteína de soya, observando que con el aumento de la concentración de soya, se incrementaba la presencia de olor a soya,

sabor a soya, consistencia y astringencia, mientras que fluidez, sabor a leche, aroma a leche y dulzura disminuían con el aumento de la concentración.

Cuadro 6. Valores medios de los atributos sensoriales de los yogures

Atributo	Tratamientos				
	Y _{50G}	Y _{100G}	Y _{2,1.5}	Y _{3,1.5}	Y _{4,1.5}
Consistencia	5.05d	7.83c	7.88c	12.55b	14.77a
Color blanco	7.61a	7.55a	7.22a	4.05b	2.83c
Aroma a yogur	7.55a	7.66a	6.72b	3.66c	1.88c
Aroma a avena	0c	0c	0.05c	1.44b	3.55a
Aroma a soya	0c	0c	0.16c	2b	4.16a
Dulzura	7.33a,b	7.55a	7.16b	4.72c	2.88d
Sabor a soya	0d	0d	0.66c	5.11b	7.77a
Sensación arenosa	0d	0d	0.72c	3.88b	7.38a
Astringencia	0c	0c	0.11c	1.88b	4.33a

Medias con letras distintas en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$)

La adición de proteína de soya en porcentajes mayores o iguales al 3%, ocasionó la presencia de atributos que no son propios del yogur, tales como aroma a avena, aroma a soya, astringencia y sensación arenosa, y que además estos aumentarían conforme aumentó el porcentaje de adición de soya, por lo que dichos atributos no fueron percibidos en los yogures controles. Drake *et al* (2000) encontraron los atributos de aroma a soya, sensación arenosa y astringencia en yogures fortificados con proteína aislada de soya, los cuales fueron evaluados por los panelistas en un análisis descriptivo cuantitativo (QDA). Friedeck *et al.* (2003) también encontraron estos atributos en helados a base de leche baja en grasa fortificados con proteína de soya, y los cuales también fueron descritos y evaluados por los panelistas. Algunos atributos como aroma a cereal específicamente a soya así como la sensación arenosa han sido previamente reportados por N’Kouka *et al.* (2004) quienes encontraron estos atributos en leches de soya. Con estos resultados se confirma que dichos atributos fueron originados por la adición de soya, lo cual concuerda con lo encontrado por Russell *et al.* (2006) quienes al evaluar las propiedades sensoriales de proteínas de soya y de suero de leche encontraron

que existen atributos sensoriales específicos de cada tipo de proteína, en este caso describen que la proteína de soja desarrolla los atributos de aroma a cereal y sensación arenosa, los cuales no fueron encontrados en las proteínas del suero de leche.

Por otra parte, la adición de proteína aislada de soja disminuyó atributos propios del yogur, como color blanco, aroma a yogur y sabor a yogur, debido a que estos atributos fueron mejor percibidos por los panelistas en los yogures controles que en los que contenían proteína de soja, este comportamiento ha sido encontrado y reportado por Drake *et al* (2000) y Friedeck *et al* (2003).

La comparación de medias de los atributos evaluados muestra que la consistencia (viscosidad) fue mayor en $Y_{4,1.5}$ seguido de $Y_{3,1.5}$, esto fue debido a que existe un aumento en la concentración de proteína aislada de soja, lo cual aumenta el contenido de sólidos totales. Schmidt *et al* (1980) investigaron leches y leches fermentadas fortificadas con leche descremada en polvo y proteína aislada de soja, encontrando que las viscosidades de la leche fermentadas con 18% de sólidos totales fortificadas con proteína de soja fueron significativamente más altas que las leches fermentadas con 18% de sólidos totales, fortificadas con leche descremada en polvo. La consistencia de Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ fueron percibidos de forma similar por los panelistas, ya que en este atributo para estos tratamientos no se presentaron diferencias significativas, por lo que un contenido de 2% de soja puede dar las características de consistencia igual que un yogur completo en grasa. el tratamiento Y_{50G} fue percibido por los panelistas como menos inconsistente o aguado, esto debido al bajo contenido graso el cual ayuda a la formación de cuerpo por los glóbulos de gras que son atrapados en la red de caseínas .

El atributo de color blanco fue percibido de forma similar en los tratamientos Y_{50G} , Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$, ya que no presentaron diferencia significativa en sus medias, por lo que una baja concentración de proteína de soja no pudo ser percibida por los panelistas al realizar la evaluación, ya que esta no afecta el color blanco característico del yogur. Por el contrario los tratamientos $Y_{3,1.5}$ y $Y_{4,1.5}$ fueron percibidos por los panelistas como los de menor color blanco, debido a que el color de estos era más oscuro conforme aumento

la concentración de soya (Drake *et al.*, 2000; Friedeck *et al.*, 2003; Rusell *et al.*, 2006). Las concentraciones altas de soya afectan el color, obteniendo un color café claro en yogures con soya debido a que el color de la proteína aislada de soya es café.

Los atributos aroma a soya y aroma a avena no fueron percibidos en los tratamientos Y_{50G}, Y_{100G} y Y_{2,1.5}, ya que no existió diferencia significativa entre estos tratamientos para este atributo. La cantidad de soya adicionada en Y_{2,1.5} no fue suficiente para que se desarrollara la presencia de estos atributos sensoriales y fueran percibidos por los panelistas, manteniendo características sensoriales parecidas a los yogures que no contenían soya, por el contrario con los tratamientos Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5} que presentaron estos atributos, siendo Y_{4,1.5} en donde estos atributos fueron percibidos con mayor intensidad por los panelistas, ya que este tratamiento presentó los valores de las medias más altos. Por lo que una concentración de proteína de soya mayor a 3% es suficiente para que se desarrollen en el yogur. Estos atributos sensoriales son característicos de la proteína aislada de soya (Rusell *et al.*, 2006)

La dulzura fue percibido con mayor intensidad por lo panelistas en Y_{100G}, el cual tuvo las media mas altas, seguido de Y_{50G} y Y_{2,1.5} los cuales no presentaron diferencia significativa entre si, observando que con el aumento de la contracción de proteína de soya, la dulzura era menos percibida por los panelistas, debido al desarrollo de otros sabores que enmascararon la dulzura de los yogures, ocasionando dificultad en la percepción de la dulzura, siendo Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5} los tratamientos percibidos como menos dulces. La dulzura disminuye con el aumento de la concentración de la proteína de soya, esto también fue encontrado por Drake *et al.* (2000) y Friedeck *et al* (2003).

Los atributos de sensación arenosa y sabor a soya no fueron percibidos en Y_{50G}, Y_{100G} y Y_{2,1.5}, ya que este atributo no presento diferencia significativa entre estos tratamientos. Drake et al (2000) encontró que la dulzura en un yogur con 1% de proteína aislada de soya fue igualmente percibida que en el yogur control (sin proteína de soya). La presencia de soya en el yogur y el aumento de la concentración de esta, aumenta la intensidad de la sensación arenosa y sabor a soya, debido a al tamaño de la partícula, el

cual es importante ya que de esto depende la percepción sensorial,, y por otro lado, cantidad de partículas , ya que a mayor cantidad de proteína de soya adicionada, mayor cantidad de partículas, haciendo que también sean fácil de ser percibidas por la lengua en la evaluación sensorial.

La astringencia es un atributo que ha sido previamente documentado para varios productos como la proteína de suero de leche y la leches de soya (N'Kouka *et al* 2004), por otro lado Rusell *et al* (2006) encontraron que la astringencia es una atributo común en la proteína de suero de leche y en la proteína de soya, debido a que este atributo fue descrito y evaluado con un análisis sensorial para soluciones de proteína de suero de leche y proteína de soya, sin que en la intensidad de percepción se encontrara diferencia significativa entre las proteínas. En los resultados obtenidos se observa que el atributo de astringencia no fue percibido en Y_{50G} , Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ debido a que entre estos tratamientos no hubo diferencia significativa, lo cual indica que los panelistas percibieron de forma similar estos tratamientos, sin detectar la presencia de este atributo, debido a que este fue calificado con valores bajos. Por otra parte, en $Y_{3,1.5}$ y $Y_{4,1.5}$ fue percibido el atributo de astringencia existiendo diferencia significativa entre estos tratamientos, siendo $Y_{4,1.5}$ el de mayor intensidad en este atributo, observándose en estos tratamientos, que a mayor concentración de soya, mayor intensidad en la percepción de la astringencia, lo cual también fue observado en los resultados de los trabajos de Drake *et al.*, (2000), Friedeck *et al* (2003) y Rusell *et al.*, (2006).

La similitudes o diferencias que presentan los diferentes tratamientos, es apreciada de mejor forma realizando un diagrama radial (figura 12) de los tratamientos con las medias de los atributos evaluados en donde se puede obtener una apreciación grafica de la diferencia o similitudes de los atributos evaluados para cada uno de los yogures.

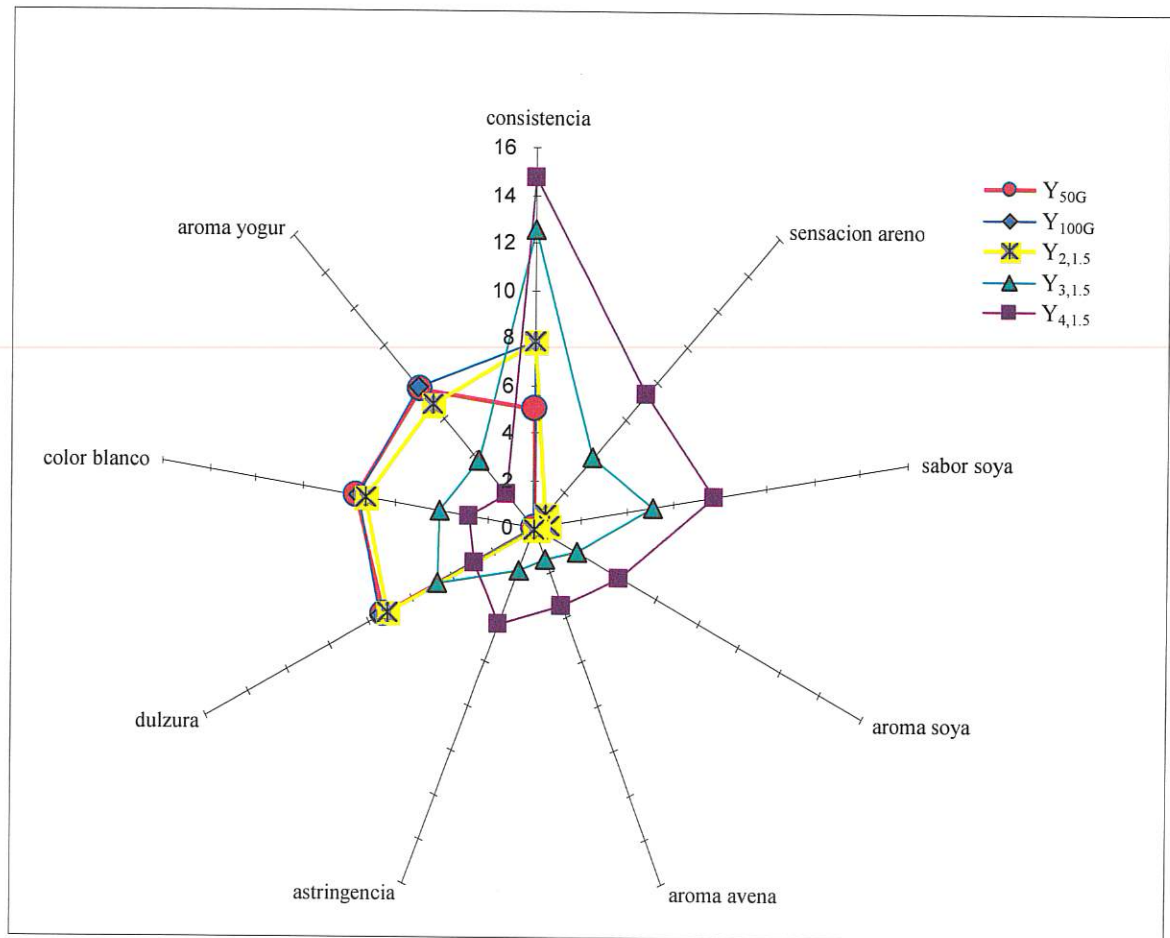


Figura 12. Diagrama radial de los atributos sensoriales identificados en los tratamientos de yogur.

Prueba de aceptación

El análisis de varianza de los resultados de la prueba de aceptación mostró que existió diferencia significativa en la aceptabilidad de los diferentes yogures. Mediante la comparación de medias a través de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) de los valores obtenidos de la calificaciones de los yogures por los panelistas (Figura 13), se obtuvo que los tratamientos con mayor aceptación e igualmente aceptados por los panelistas fueron Y_{100G} y Y_{2,1.5}, por otra parte, el tratamiento menos aceptados fue Y_{4,1.5}, debido a su alto contenido de proteína de soya el cual desarrollo atributos sensoriales desagradables a los panelistas.

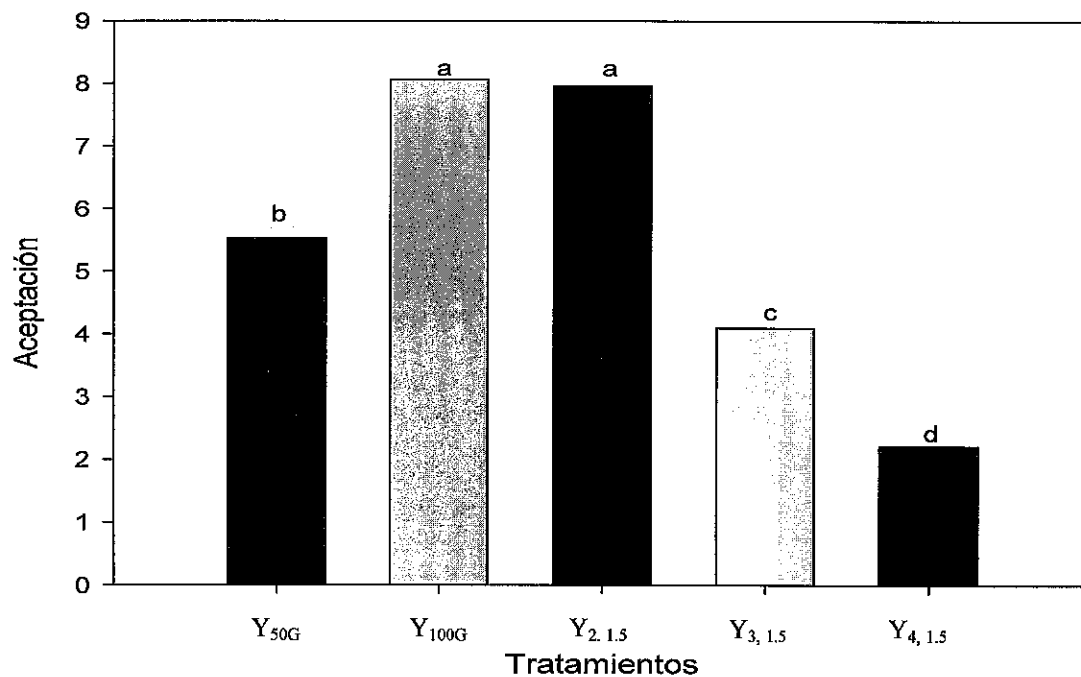


Figura 13. Valores medios de la aceptación de los yogures. Calificaciones con base a una escala hedónica de 9 puntos donde: 1 = me disgusta extremadamente y 9 = me gusta extremadamente. Medias con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

La poca aceptación de Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5}, fue debido en parte a la mayor consistencia de este tratamiento, ocasionado por la acción de soya, ya que estos tratamientos presentaron una mayor consistencia parecida a la de la “mayonesa”; Schmidt *et al.* (1980) describieron esta textura en yogures fortificados con proteína de soya; y Drake *et al.* (2000) obtuvieron esta apariencia en yogures fortificados con 5% de proteína concentrada de soya, que además también fueron poco aceptados. Otros de los atributos por los que fueron poco aceptados dichos tratamientos fueron la astringencia, la arenosidad, el olor y sabor a soya, debido que estos atributos presentaron mayor intensidad por la alta concentración de proteína aislada de soya. El tratamiento Y_{50G} fue más aceptado que Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5} pero menos que Y_{100G} y Y_{2,1.5} debido a la poca consistencia presente en el yogur que fue el único defecto que los panelistas encontraron en este tratamiento. Por otra parte Y_{2,1.5} fue aceptado de igual manera que Y_{100G}, este tratamiento es comparable

con el yogur completo en grasa, ya que los panelistas no detectaron atributos sensoriales desagradables, que pudieran ocasionar su rechazo por los panelistas.

El PLS1 de las medias de los datos descriptivos y de aceptabilidad demostró que ambos tuvieron una correlación de 0.87 y se realizó un mapa de preferencia (figura 14) con estas variables. Para el análisis descriptivo, los primeros 2 componentes principales (CPs) explicaron el 100% de la variabilidad de los tratamientos. El CP1 explicó el 98% de la varianza en los datos, cuyas variables de correlación positiva son color blanco, aroma a yogur y dulzura. El CP2 explicó el 2% de la variabilidad de los datos, presentando una correlación positiva con el atributo de consistencia. En la aceptabilidad de los yogures, los 2 primeros componentes principales explicaron el 94% de la variabilidad de la preferencia. El CP1 explicó el 77% de la varianza de los datos. El CP2 solo explicó el 17% de la variabilidad de los datos.

El PLS1 de las medias de los datos descriptivos y de aceptabilidad (cuadro 7) demostró que ambos tuvieron una correlación de 0.89. Para los datos descriptivos, los primeros 2 componentes principales (CPs) explicaron el 100% de la variabilidad de los yogures, donde el CP1 explicó el 99% de la varianza de los datos, cuyas variables de correlación fueron la sensación arenosa y la astringencia. El CP2 explicó el 1% de la variabilidad de los datos, teniendo una correlación con la consistencia. La aceptabilidad de los yogures, los 2 primeros componentes principales explican el 93% de la variabilidad de la preferencia de los yogures. El CP1 explicó el 80% de la varianza de los datos y el CP2 explicó el 13% de la variabilidad de los datos; la consistencia en el CP2 tuvo una alta carga de correlación.

Cuadro 7. Cargas de correlación de los primeros dos componentes principales del PLS1 de los atributos sensoriales y la aceptabilidad de los tratamientos de yogur

Atributo	Descriptivo		Aceptabilidad	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Consistencia	-0.210	1.038	0.196	1.226
Blancura	0.216	-0.283		
Aroma a yogur	0.217	-0.222		
Aroma a avena	-0.218	-0.281		
Aroma a soya	-0.220	-0.145		
Dulzura	0.219	6.197e-02		
Sabor a soya	-0.219	0.153		
Sensación arenosa	-0.707	-7.186e-02		
Astringencia	-0.414	-0.430		

En el mapa de preferencia interno (figura 14) se puede observar que Y_{100G} y $Y_{2,1.5}$ fueron los más aceptados, y los atributos sensoriales que determinaron esta aceptación fueron dulzura y aroma a yogur, que también fueron los atributos por los que se caracterizaron. El yogur control Y_{500G} fue poco aceptado, sin embargo el atributo sensorial que lo caracterizó para su aceptación fue el color blanco, ya que en este tratamiento se presentó con mayor intensidad este atributo. Los yogures $Y_{3,1.5}$ y $Y_{4,1.5}$ se caracterizaron por los atributos sensoriales de sabor y aroma a soya, aroma a avena, astringencia y sensación arenosa, además de la alta consistencia; estos atributos que los caracterizaron influenciaron en la poca aceptación en la poca aceptación de estos tratamientos, ya que para los panelistas, estos atributos fueron desagradables y se percibieron con mayor intensidad.

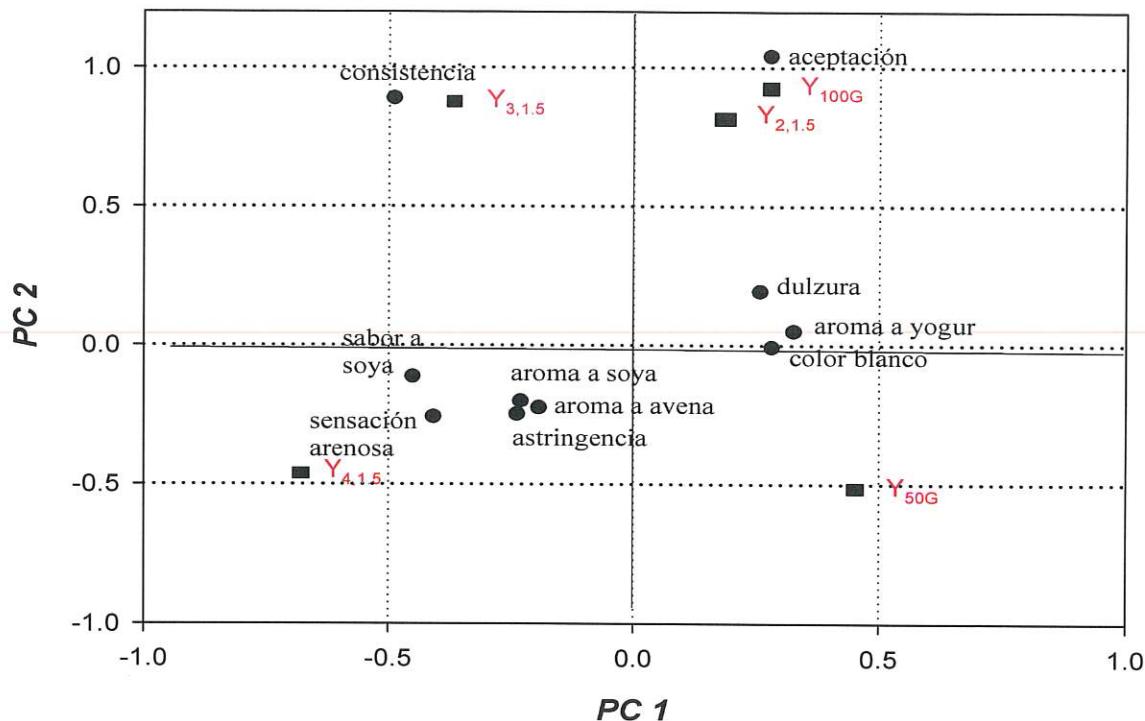


Figura 14. Mapa de preferencia interno de los tratamientos de yogur

En el mapa de preferencia interno (figura 14) se puede observar que Y_{100G} y Y_{2,1.5} fueron los más aceptados, y los atributos sensoriales que determinaron esta aceptación fueron dulzura y aroma a yogur, que también fueron los atributos por los que se caracterizaron. El yogur control Y_{50G} fue poco aceptado, sin embargo el atributo sensorial que lo caracterizó para su aceptación fue el color blanco, ya que en este tratamiento se presentó con mayor intensidad este atributo. Los yogures Y_{3,1.5} y Y_{4,1.5} se caracterizaron por los atributos sensoriales de sabor y aroma a soya, aroma a avena, astringencia y sensación arenosa, además de la alta consistencia; estos atributos que los caracterizaron influenciaron en la poca aceptación de estos tratamientos, ya que para los panelistas, estos atributos fueron desagradables y se percibieron con mayor intensidad.

CONCLUSIONES

La adición de proteína de soya a diferentes niveles permitió una disminución en los porcentajes de sinéresis, ya que a mayor porcentaje de proteína aislada de soya adicionada, el porcentaje de sinéresis disminuía, lo cual indica una mayor retención de agua entre las redes de proteína lácteas y de soya que se forman en el yogur. Pero un nivel bajo de adición de soya (2%) presentó los mismos porcentajes de sinéresis que un yogur completo en grasa.

Los barridos de frecuencia y las curvas de flujo señalan que la estructura de un yogur adicionado con 2% de proteína de soya es la más parecida a un yogur completo en grasa, ya que porcentajes mas altos se obtienen estructuras proteínicas de elevada densidad con enlaces más resistentes a la deformación., lo cual deriva en la necesidad de esfuerzos de deformación más altos obteniéndose un aumento en los valores de G' , G'' y de viscosidad.

La adición de soya en un porcentaje de 2% sirvió para desarrollar características sensoriales de aroma, sabor, color y textura que la de un yogur completo en grasa, además de que a este porcentaje no se desarrollaron atributos desagradables característicos de la proteína aislada de soya y no fueron percibidos por los panelistas. Una concentración de 2% de proteína aislada de soya ayudo a desarrollara características sensoriales y reológicas similares a un yogur completo en grasa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abu-Jdayil, B. 2003. Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuff. *J. Food Eng.* 57:97-102.
2. Afonso, I. M., and Maia, J. M. 2000. Rheological monitoring of structure development and rebodding of set-style yoghurt. *Appl. Rheol.* 10:73-79.
3. Ahmed, J., Ramaswamy, H.S. and Alli, I. 2006. Thermorheological characteristics of soybean protein isolate. *J Food Sci.* 71(3):158-163.
4. Akoh, C.C. 1998. Fat Replacers. *Food Tech.* 52(3):47-53.
5. Alegria-Toran, A., Barbera, R., Faree.,R., Lagarda, M.J. and Lopez, J.C. 1996. HPLC method for Cyst(e)ine and methionine in infant formulas. *J. Food Sci.* 61(6):1132-6.
6. Amatayakul, T., Sherkat, F. and Shah, N. 2006. Syneresis in set yogurt as affected by EPS starter cultures and levels of solids. *J Dairy Tech.* 59(3):216-221.
7. Association of Official Analytical Chemist, A.O.A.C. 1991. Official methods of analysis. 15va, Ed. A.O.A.C., Arlington, VA, U.S.A.
8. Atia, M., Wenshui, X. and Guonong, Z. 2004. Effect of soy protein supplementation on the quality of ripening Cheddar-type cheese. *Int J Dairy Tech.* 57(4): 209-214.
9. Benezech, T. and Maingonnat, J. F. 1994. Characterization of the rheological properties of yogurt – a review. *J Food Eng.* 21:447-442.
10. Berry, D. 1998. Formulating soy foods. *Dairy Foods.* 99(6):29-33
11. Bremer, L.G.B., Bijsterbosch, B.H., Schrijves, R., van Vliet, T. and Walstra, P. 1990. On the fractal nature of structure of acid casein gels. *Colloids surf.* 51:159-170.
12. Brennan, E.M., Setser, C. and Schmidt, K.A. 2002. Yogurt thickness: effects on flavor perception and liking. *J Food Sc.* 67(7):2785-2789.

13. Cantunes, A.C., Cazetto, T.F. and Bolini, H.M.A. 2005. Viability of probiotic micro-organisms during storage, postacidification and sensory analysis of fat-free yogurts with added whey protein concentrate. *Int J Dairy Tech.* 58(3):169-184.
14. Cheftel, J.C., Cuq, J.L., y Lorient, D. 1989. Proteínas alimentarias: bioquímica, propiedades funcionales, valor nutritivo, modificaciones químicas. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. pp. 179-185.
15. Chen, R.M., Wu J.J., Lee, S.C., Huang, A.H., and Wu, H.M. 1999. Increase of intestinal Bifidobacterium and suppression of coliform bacteria with short-term yogurt ingestion. *J. Dairy Sci.* 82:2308-2314.
16. Chin, K.B., Keeton, J.T., Miller, R.K., Longnecker, M.T. and Lamkey, J.W. 2000. Evaluation of konjac blends and soy protein isolates as fat replacements in low-fat Bologna. *J Food Sci.* 65(5):756-763.
17. De Lorenzi, L., Priel, S. and Torriano, G. 1995. Rheological behavior of low-fat and full-fat stirred yogurt. *Int. Dairy J.* 5:661-671.
18. Di Cagno, R., Tamborrino, A., Gallo, G., Leone, C., De Angelis, M., Faccia, M., Amirante, P., and Gobbetti, M. 2004. Uses of mare's milk in manufacture of fermented milks. *Int Dairy J.* 14(9):767-775.
19. Dickinson, E., 2001. Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology. *Colloids and surface B*, 20:197-210.
20. Domagal, J., Sady, M., Grega, . and Bonczar, G. 2006. *International Journal of Food Properties.* 9(1):1-11.
21. Drake, M.A. and Gerard, P.D. 2003. Consumer attitudes and acceptability of soy-fortified yogurts. *J Food Sci.* 68(3):1118-1122.
22. Drake, M.A., Chen, X.Q., Tamarapu, S. and Leenanon, B. 2000. Soy protein fortification affects sensory, chemical, and microbiological properties of dairy yogurts. *J Food Sci.* 65(7):1244-1247.

23. Egan, H., Kirk, R. y Sawyer, R. 1987. Análisis Químico de Alimentos de Pearson. C.E.C.S.A. México.
24. Fernández-García, E., McGregor, J.U., and Traylor, S. 1998. The addition of oat fiber natural alternative sweeteners in the manufacture of plain yogurt. *J. Dairy Sci.* 81:655-663.
25. Friedeck, K.G., Karagul-Yuceer, Y. and Drake, M.A. 2003. Soy protein fortification of a low-fat dairy-based ice cream. *J Food Sci.* 68(9): 2651-2657.
26. Gunasekaran, S. and Mehmet, M., 2000. Dynamic oscillatory shear testing of foods – Selected applications. *Food Science and Technology*, 11:115-127.
27. Guven, M., Yasars, K., Karaca, O. B. and Hayaloglu, A.A. 2005. The effect of inulin a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *Int J Dairy Tech.* 58(3):180-184.
28. Harwalkar, V.R. and Kalab, M. 1986. Relationship between microstructure and susceptibility to whey separation in yogurt made from reconstituted nonfat dry milk. *Food Microstructure.* 5:287-294.
29. Hassan, N., Pisen, R., Janzen, T., and Qvist K. B. 2003. Microstructure and Rheology of Yogurt Made with Cultures Differing Only in Their Ability to Produce Exopolysaccharides. *J. Dairy Sci.* 86:1632-1638
30. Hess, S. J., R. F. Roberts, and G. R. Ziegler. 1997. Rheological properties of nonfat yogurt stabilized using *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* producing exopolysaccharide or using commercial stabilizer systems. *J. Dairy Sci.* 80:252-263.
31. Hollingsworth, P. 2001. Yogurt reinvents itself. *Food Technology.* 55(3):43-49.
32. Jaworska, D., Waszkiewci-Robak, B., Kolanowski, W., and Swiderski, F. 2005. Relative importance of texture properties in the sensory quality and acceptance of natural yoghurts. *Int J Dairy Tech.* 58(1): 39-46.

33. Jaros, D., Rohon, H., Haque, A., Bonaparte, C. and Kneifel, W. 2002. Influence of the starter culture on the relationship between dry matter and physical properties of the set-style yogurt. *Milchwissenschaft*. 57(6):325-328.
34. Jumah, R. Y., Shaker, R. R. and Abu-Jdayil, B. 2001. Effect of milk source on the rheological properties of yogurt during the gelation process. *J Dairy Tech*. 54(3):1-5.
35. Keogh, M.K. and O'Kennedy, B.T. 1998. Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids. *J Food Sci*. 63(1):108-112.
36. Kilcast, D. 2002 food texture: perception and measurement. *Food Quality and Preference*. 4:41-49.
37. Lankes, H., H. B. Ozer, and R. K. Robinson. 1998. The effect of elevated milk solids and incubation temperature on the physical properties of natural yoghurt. *Milchwissenschaft* 53:510-513.
38. Lee, K-A. and Brennand, C.P. 2005. Physico-chemical, textural and sensory properties of a fried cookie system containing soy protein isolate. *Int J Food Sci and Tech*. 40:501-508.
39. Lee, W.-J. and Lucey, J. A. 2006. Impact of gelation conditions and structural breakdown on the physical and sensory properties of stirred yogurts. *J. Dairy Sci*. 89:2374-2385.
40. Luo, Y., Kuwahara, R., Kaneniwa, M., Murata, Y. and Yokohama, M. 2004. Effect of soy protein isolate on gel properties of Alaska Pollock and common carp surimi at different setting conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84(7):663-671.
41. Magenis, R.B., Prudêncio, E.S., Amboni, R.D.M.C., Júnior, N. G. C., Oliveira, R. V. B., Soldi, V. and Benedet, H. D. 2006. Compositional and physical properties of yogurts manufactured from milk and whey cheese concentrated by ultrafiltration. *Int J Food Sci and Tech*. 41:560-568.

42. McKinley, M.C. 2005. The nutrition and health benefits of yogurt. *Int J Dairy Tech.* 58(1):1-12.
43. Meilgaard, M., Civille, G. V. & Carr B. T. 1999. *Sensory Evaluation Techniques*. (3ra edition). Boca Raton. Florida. CRC Press.
44. Modler, H. W., Larmond, M. E., Lin, C. S. Froehlich, D. and Emmons, D. E. 1983. Physical and sensory properties of yogurt stabilized with milk proteins. *J. Dairy Sci.* 66:422-429.
45. N'Kouka, K.D., Klein, B. and Lee, S.-Y. 2004. Developing a lexicon for descriptive analysis of soymilks. *J Food Sci.* 69(7):S259-S263.
46. O'Mahony, M. 1985. *Sensory Evaluation of Food*. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, New York 10016, U.S.A.
47. Ozer, B.H., Stenning, R.A., Gradison, A.S. and Robinson, R.K. 1999. Rheology and Microstructure of Labneh (Concentrated Yogurt). *J Dairy Sci.* 82:682-689.
48. Puppo, M.C. and Añón, M.C, 1999. Soybean protein dispersions at acid pH. Thermal and rheological properties. *J Food Sci.* 64(1):50-56.
49. Ramaswamy, H. S. and S. Basak. 1991. Rheology of stirred yogurts. *J Texture Stud.* 22:231-241.
50. Recillas-Mota, T. 2005. Comportamiento reológico y estructural de bebidas lácteas fermentadas conteniendo emulsiones aceite-en agua y agua-aceite- en agua formuladas con diferentes agentes emulsificadores y estabilizantes. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México, México. p. 57.
51. Roefs, S. P. F. M., and T. van Vliet. 1990. Structure of acid casein gels. 2. Dynamic measurements and type of interaction forces. *Coll. Surf.* 50:161-175.
52. Russell, T. A., Drake, M. A. and Gerard, P. D. 2006. Sensory properties of whey and soy proteins. *J Food Sci.* 71(6):S447-S445
53. Saint-Eve, A., Lévy, C. and Souchon, I. 2006. Influence of Proteins on the perception of flavored stirred yogurts. *J Dairy Sci.* 89:922-933.

54. Salvador, A., Fiszman, S.M. and Hough, A.C.G. 2005. Survival analysis applied to sensory shelf life of yogurts-II: Spanish formulations. *J Food Sci.* 70(7): s446-s449.
55. Schmidt, R.H., Ssitruk, C.P., Ritcher, R.L. 1998. Heat treatment and storage effects on texture characteristics of milk and yogurts systems fortified with oilseeds proteins. *J. Food Sci.* 45(3):471-461
56. Steffe, J.F. 1996. Viscoelasticity. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, Freeman Press, USA, p.294-348.
57. Steventon, A.J., Parkinson, C.J., Fryer, P.J. and Bottomley, R.C. 1990. The rheology of yogurt. En *Rheology of Food, Pharmaceutical and biological materials whit general Rheology*. R.E. Carter Ed. Elsevier Applied Science, pp: 197-210.
58. Stone, H., McDermott, b.j. and Sidel, J.L. 1991. The importance of sensory analysis for the evaluation of quality. *Food Technology*. 46:88-95.
59. Tabilo-Muzinaga, G. and Barbosa-Cánovas, V. 2005. Rheology for the food industry, *J. Food Eng*, 67:147-156.
60. Tamime, A.Y. 2002. Fermented miles: a historical food with modern applications- a review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 56:S2-S5.
61. Tamime, A.Y. y Robinson, R.K. 1991. *Yogurt Ciencia y Tecnología*. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
62. Tunick, M. H. 2000. Simposium: dairy products rheology, *Rheology of Dairy Food that Gel, Stretch, and Fracture. Journal of Dairy Science*. 83:1892-1898.
63. Wolf, WJ. 1970 Soybean proteins: their functional, chemical, and physical properties. *J. Agr. Food Chem.* 18:969.
64. Zind, T. 1998. Making the case for soy. *Food Proc* 25(7):31-34.